

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ
(*Mention Sciences*)

PAR

Sang Jou SHINN

1^{re} THÈSE. — RECHERCHE CRITIQUE ET EXPÉRIMENTALE
CONCERNANT L'ÉVALUATION DE LA VALEUR
NUTRITIONNELLE DE LA FRACTION AZOTÉE
D'UNE LUZERNE CHEZ LE RUMINANT (CAS
DU MOUTON), EN FONCTION DU MODE DE
CONSERVATION.

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 2 Décembre 1963 devant la Commission d'examen.

MM^{lles} LE BRETON
VEIL
M. DELAGE

Président

} *Examineurs*

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES

DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR

LE TITRE DE DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ

(*Mention Sciences*)

PAR

Sang Jou SHINN

1^{re} THÈSE. — RECHERCHE CRITIQUE ET EXPÉRIMENTALE
CONCERNANT L'ÉVALUATION DE LA VALEUR
NUTRITIONNELLE DE LA FRACTION AZOTÉE
D'UNE LUZERNE CHEZ LE RUMINANT (CAS
DU MOUTON), EN FONCTION DU MODE DE
CONSERVATION.

2^e THÈSE. — Propositions données par la Faculté.

Soutenues le 2 Décembre 1963 devant la Commission d'examen.

MM^{les} LE BRETON

VEIL

M. DELAGE

Président

} *Examineurs.*



FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PROFESSEURS

Doyen M. Zamansky

JULIA	T	Analyse supérieure et Algèbre supérieure	AMIEL	T	Chimie générale
PRENANT	T	Anatomie et Histologie comparée	HOCART	T	Minéralogie et Cristallog.
GRASSÉ	T	Évolution des êtres organisés	MATHIEU J.P.	T	Physique optique
PRÉVOST	T	Chimie organique	COUTEAUX	T	Cytologie
WYART	T	Minéralo et Cristallo.	MAY	T	Zoologie
TEISSIER	T	Zoologie	CHOQUET	T	Théorie des fonctions et Topologie
MANGENOT	T	Biologie vég. Orsay	FELDMANN	T	Biologie végétale marine
AUGER	T	Physique quantique et relativité	GUINIER	T	Physique des solides (Orsay)
MONNIER	T	Physiologie générale	JOST	T	Physiologie comparée
PIVETEAU	T	Paléontologie	FORTET	T	Calcul des probabilités et Physique mathématique
ROCARD	T	Physique (E.N.S.)	SCHARTZ	T	Calcul diff. et intégral
CARTAN	T	Mathématiques (E.N.S.)	CHOUARD	T	Physiologie végétale
LAFFITTE	T	Chimie générale	MALAVARD	T	Aviation (Techn. Aéronaut.)
FAVARD	T	Géométrie supérieure	BRELOT	T	Calcul diff. et intégral
COULOMB	T	Physique du globe	NORMANT	T	Chimie organique
COUSIN (M ^{lle})	T	Biologie animale (S.P.C.N.)	BÉNARD	T	Chimie minérale
CHRÉTIEN	T	Chimie minérale	BUVAT	T	Botanique (E.N.S.)
DRACH	T	Zoologie	DUGUÉ	T	Statistiques mathématiques
KASTLER	T	Physique (E.N.S.)	SOULAIRAC	T	Psychophysiologie
ÉPHRUSSI	T	Génétique	ULRICH	T	Physiologie végétale appli.
RIVIÈRE	T	Géologie (S.P.C.N.) et sédiment (Orsay)	MARÉCHAL	T	Optique théori. et appliq.
GAUTHERET	T	Biologie végétale P.C.B.	KIERMANN	T	Théories chimiques
LUCAS R.	T	Recherches physiques	CHADEFAUD	T	Botanique
THOMAS A.	T	Biologie cellulaire	LE BRETON (M ^{lle})	T	Physio. de la nutrition
ARNULF	T	Optique appliquée	LELONG	T	Application de l'analyse à la géométrie
MORAND	T	Physique enseignement	DEVILLERS	T	Anatomie et Histol. comp.
SOLELLET	T	Physique (P.C.B.)	EHRESMANN	T	Topologie algébrique
FORTIER	T	Mécanique Exp. des Fluides	FRANÇON	T	Physique (S.P.C.N.)
DANJON	T	Astronomie	GLANGEAUD	T	Géographie phys. et géol.
PETIT	T	Biologie maritime	GODEMENT	T	Mathématiques (M.C.P.)
QUENEY	T	Météo et dynamique atmosphérique	PISOT	T	Tech. Mathém. de la Phys.
GALLIEN	T	Embryologie	ROCH	T	Géologie
EICHORN	T	Botanique	SCHATZMANN	T	Astrophysique
DE CUGNAC	T	Biologie vég. (S.P.C.N.)	TERMIER	T	Géologie générale
CAUCHOIS (M ^{lle})	T	Chimie physique	ZAMANSKY	T	Mathématiques générales
THEILLIER	T	Physique du globe	LENNUIER	T	Physique (M.G.F.)
L'HÉRITIER	T	Biologie génér. (Orsay)	RIZET	T	Génétique (Orsay)
GRIEY	T	Radioélectricité (Orsay)	ROUTHIER	T	Géologie appliquée
PONCIN	T	Mécanique générale	TONNELAT M ^{me}	T	Physique théorique
DU BREIL	T	Arithm. et théorie des nombres	DIXMIER	T	Mathématiques (M.P.C.)
QUELET	T	Chimie organique	SOUCHAY	T	Chimie générale
CAGNIARD	T	Géophysique appliquée	AIGRAIN	T	Electrotechnique génér.
CHAMPETIER	T	Chimie macromoléculaire	BRUSSET	T	Chimie systématique
CUVILLIER	T	Micropaléontologie	LEVY M	T	Physique théorique des hautes énergies (Orsay)
JUNG	T	Géologie	CHAIX M ^{me}	T	Chimie biologique
TRILLAT	T	Microscopie et diffraction électronique	HUREL-PY M ^{me}	T	Biologie végétale (P.C.B.)
WIEMANN	T	Chimie organique et struc.	PIAUX	T	Chimie (M.P.C.)
JACQUINOT	T	Spectroscopie et Physique céleste (Orsay)	BRUN	T	Mécanique théorique des fluides I
VASSY	T	Physique de l'atmosphère	LEDERER	T	Chimie biologique (Orsay)
DESTOUCHES	T	Théorie physique	DUBREIL M ^{me}	T	Mathématiques (Agrég.)
			LELONG M ^{me}	T	Math. II (E.N.S.)
			BELLAIR	T	Géologie (S.P.C.N.)
			COTTE	T	Physique électricité

DUBOIS J.E...	T	Chimie organique	BLAMONT	T	Géophysique ionosphère
LAMOTTE	T	Zoologie (E.N.S.)	BOUREAU	T	Botanique
MICHEL A.	T	Chimie minérale (Orsay)	CURIE D.	T	Physique (M.G.P.)
OLMER	T	Énergétique générale	DURAND-DELGA . .	T	Géologie
ROUAULT	T	Électricité (Orsay)	FRÉON	T	Chimie organique (Orsay)
GAUTHIER	T	Mécanique appliquée	HELLER	T	Physiologie végétale
BACHEWITZ	T	Chimie physique	TORTRAT	T	Calcul des probabilités
BROSSEL	T	Physique atomique	CAILLEUX	T	Géologie (S.P.C.N.)
BUSER	T	Physiologie comparée	MAGNAN	T	Physique (S.P.C.N.)
CAMUS	T	Physiol. végétale	DAUDEL	T	Mécanique ondulatoire
CASTAING	T	Physique II Thermod. (Orsay)	FOURCROY M ^{lle}		Biologie végétale (S.P.C.N.)
CURIEN	T	Minéralo et Cristallog.	CHOQUET-BRUHAT .	T	Mécan. analytique et mécan. céleste
MOYSE	T	Physiologie végét. (Orsay)	VEIL M ^{lle}		Physiologie générale
NOIROT	T	Évolution des Êtres Org.	LWOFF	T	Microbiologie
PANNETIER	T	Chimie générale	SIESTRUNK	T	Mécan. phys. et expérim.
POSSOMPES	T	Zoologie	LACOMBE	T	Métallurg. des métaux nucléaires
PULLMANN	T	Chimie quantique	BROCHARD	T	Physique (P.C.B.) Orsay
TEILLAC	T	Physique nucl. et radio-activité	CABANNES	T	Mécanique générale
TONNELAT	T	Biologie physico-chim.	LESIEUR	T	Mathématiques-I (Orsay)
VILLE	T	Économétrie	MAZET	T	Mécanique générale (Orsay)
WILLEMART	T	Chimie (P.C.B.)	CAIRE		Géographie phys. et Géolog. dynamique
DODE	T	Chimie (Orsay)	COMOLET	T	Mécanique des fluides
GREYMANN	T	Recherches physiques	CORABŒUF		Physiologie animale (Orsay)
GUINOCHE	T	Biol. vég. (S.P.C.N.) (Orsay)	DELLOUÉ		Physique de l'exosphère
ROLLET	T	Chimie minérale	GORENFLOT		Botanique II (Orsay)
JOSIEN M ^{lle}	T	Chimie (S.P.C.N.)	HOULLON		Biologie animale (P.C.B.)
CHEVALLEY	T	Géométrie algéb. et théorie des groupes	JULLIEN J.		Chimie S.P.C.N. (Orsay)
ARNOULT	T	Électronique (Orsay)	MALGRANGE	T	Technique math. de la Physique (Orsay)
CHAPELLE	T	Physique (Orsay)	OLIVIER		Antropologie
DELANGE	T	Mathématiques I (Orsay)	NOZERAN	T	Botanique II (Orsay)
DENY	T	Mathémat. génér. (Orsay)	BLANC-LAPIERRE .	T	Physique (E.N.S.) (Orsay)
GERMAIN	T	Mécan. théor. des fluides	CHEVAUGÉON . . .	T	Botanique (Orsay)
LUCAS G.	T	Géologie	KAHANE	T	Mathématiques (Orsay)
ALLARD	T	Chimie physique	SAMUEL	T	Mathém. (E.N.S.) féminines
BERTHELOT	T	Physique des particules fondamentales	KOURGANOFF . . .	T	Astronomie (Orsay)
BRICART	T	Météor. et Phys. de l'Atmosphère	THIRY	T	Mécanique céleste
ALBE-FESSARD M ^{me}	T	Psychophysiologie	ABELES		Physique (S.P.C.N.)
FRIEDEL	T	Physique des solides (Orsay)	AMAT	T	Physique (P.C.B.)
JULIA M.	T	Études des moléculaires naturelles complexes	AUBOIN	T	Géologie
LENDER	T	Biologie anim. (S.P.C.N. Orsay)	BENOIT-GUÉUTAL M ^{me}		Physique nucl. et radio-activité
MAGAT	T	Physico-Chimie des radio-éléments	BOUGIS		Biologie marine (Villefranche-sur-Mer)
QUINTIN M ^{lle}	T	Électrochimie	BRUHAT	T	Mathématique (P.M.C.)
MONOD	T	Chimie du métabolisme	BRUNN	T	Géologie historique (Orsay)
BENOIT	T	Physiol. anim. (Orsay)	CHABBAL		Physique M.G.P. (Orsay)
DE POSSEL	T	Analyse numérique	DEHEUVELS	T	Mathématique Prop. (Orsay)
CHARLOT	T	Chimie analytique	D'ESPAGNAT	T	Physique théorique (Orsay)
LEMÉE	T	Écologie (B.M.P. V.) (Orsay)	FURON	T	Géologie (S.P.C.N.)
GUÉRIN	T	Chimie (M.P.C.) (Orsay)	GANS M ^{me}	T	Génétique
CHATELET M.	T	Chimie (P.C.B.)	GENEVÈS		Biologie végétale (P.C.B.)
JEAN	T	Physique nucléaire (Orsay)	GUILBERT		Physique (C.U.S. Orléans)
MATTLER	T	Physique (S.P.C.N.)	HUPE		Pétrographie
BERGERARD	T	Zoologie (Orsay)	HOLLANDE	T	Chimie générale
BERTIN	T	Électronique (Orsay)	LIONS	T	Analyse numérique
BOUSSIÈRES	T	Chimie des radioéléments (Orsay)	MAITTE		Chimie (P.C.B.)
COUTURE M ^{me}	T	Thermodynamique et Méc. Physique	MEYER		Physique propédeutique
ELLENBERGER	T	Géologie des grandes régions du globe	NICOLAS		Géologie appliquée
FRANC	T	Biologie animale (P.C.B.)	PANGEL		Biologie générale
SCHNELL		Botanique tropicale (Orsay)	RAVIER		Pétrographie
STLKOWSKI	T	Physiologie végétale	ROSEAU	T	Mécanique théor. des fluides
ACHER		Chimie biologique	ROUBINE		Électronique
BAUDOIN		Biologie animale (P.C.B.)	SILBER	T	Chimie (P.C.B.)
BAUMONT		Biologie animale (S.P.C.N.)	UEBERSFELD	T	Électronique
			YVON	T	Théories physiques

Le Secrétaire Général :
R. POULAIN.

L'hommage de mon respect va tout d'abord aux membres de mon jury de thèse : M^{lle} E. LE BRETON, M^{lle} C. VEIL, Professeurs à la Faculté des Sciences de Paris et à M. DELAGE J., Maître de Conférences à l'Institut National Agronomique.

Ma reconnaissance s'adresse particulièrement à M^{lle} E. LE BRETON qui a su m'encourager dans les difficultés et me diriger dans l'étude critique et la rédaction de cette thèse. Dès le commencement, elle a porté un intérêt bienveillant à mes travaux. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

M. le Professeur LEROY a bien voulu m'accueillir dans ses services de la Chaire de Zootechnie de l'Institut National Agronomique : qu'il en soit ainsi respectueusement remercié. Mais c'est surtout à M. ZELTER, Directeur et à M^{me} CHARLET-LERY, Maître de Recherches du Laboratoire de Recherches sur la Conservation et l'Efficacité des Aliments de l'I.N.R.A., que je dois d'avoir pu entreprendre et poursuivre mes travaux. J'ai trouvé constamment auprès d'eux une aide précieuse tant pour la réalisation de mes expériences que pour leur interprétation scientifique. M. TISSERAND, Chef de Travaux à l'Institut National Agronomique et l'équipe du Laboratoire qui m'ont aidé dans la réalisation matérielle de mon travail méritent également ma gratitude.

M. CARTON, responsable de l'organisation de mon stage en France et M. CHARLET, Maître de Conférence à l'Institut National Agronomique, ont accepté la prolongation de mon stage afin que je puisse réaliser ces travaux et présenter ma thèse. Ils ont su m'aider à résoudre les problèmes matériels de mon séjour en France. Je leur demande ici d'accepter tous mes remerciements.

Nous remercions l'Institut Technique des céréales et des fourrages d'avoir bien voulu subventionner les frais de publication de ce travail.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

A MA MÈRE

PREMIÈRE THÈSE

RECHERCHE CRITIQUE ET EXPÉRIMENTALE
CONCERNANT L'ÉVALUATION
DE LA VALEUR NUTRITIONNELLE
DE LA FRACTION AZOTÉE D'UNE LUZERNE
CHEZ LE RUMINANT (CAS DU MOUTON),
EN FONCTION
DU MODE DE CONSERVATION

INTRODUCTION

Pour la nutrition animale le problème de la couverture des besoins azotés est crucial, l'azote étant souvent le plus coûteux du régime des animaux. Il est bien connu que l'herbe et ses dérivés, notamment les foins et les ensilages, sont dans bien des cas la source principale de cet élément nutritif pour le polygastrique. Étant donné que la production d'herbe est saisonnière, tandis que son utilisation par l'animal s'échelonne sur toute l'année, il est très important que sa conservation comporte un minimum de perte d'éléments nutritifs. De nombreuses tentatives ont été faites pour conserver au maximum la valeur nutritive originelle du fourrage. Cependant aucune technique de conservation actuellement connue, ne saurait améliorer les qualités initiales d'un fourrage dont la valeur nutritive dépend en premier lieu des réserves assimilables accumulées par la plante sur pied au moment de la récolte.

La valeur nutritive d'un fourrage varie suivant les qualités du sol l'ayant produit, des engrais qui ont été fournis et des conditions climatologiques au cours du cycle de végétation de la plante. Le facteur principal de variation reste cependant le stade de végétation au moment de la coupe puisque la valeur du fourrage varie énormément avec l'âge de la plante.

Les conditions de conservation (fanage ou ensilage) entraînent des pertes et des modifications de substances nutritives plus ou moins importantes selon les techniques. Dans l'ensilage plus spécialement, la protéolyse, résultant de l'action conjuguée des enzymes végétales et des bactéries, conduit à la dégradation des protéines en peptides, en acides aminés, et même en ammoniacque; ces phénomènes dont l'intensité est fonction du procédé d'ensilage, modifient la valeur azotée du produit final.

D'autre part, le polygastrique est capable d'utiliser avec une certaine efficacité les formes d'azote dégradé grâce à l'intervention de la micropopulation de ses réservoirs gastriques. De nombreux auteurs ont tenté d'évaluer la valeur nutritive d'un fourrage conservé. La complexité des phénomènes de protéolyse au cours de la conservation et de protéolyse et de protéinogénèse bactérienne durant le passage de l'aliment dans le réticulo-rumen et dans l'intestin, expliquent la variabilité de l'efficacité azotée observée pour un fourrage selon les critères choisis.

Ces raisons nous ont amené à nous demander :

— Quel est le mode de conservation — fenaïson ou ensilage — qui assure l'utilisation la plus efficace de la fraction protidique d'un fourrage ?

— Quel serait le critère d'estimation parmi ceux actuellement proposés (digestibilité apparente, digestibilité vraie, rétention classique, « rétention vraie », « valeur biologique ») qui permettrait de mettre le mieux en évidence l'influence de ces modes de conservation sur l'utilisation de cette fraction protidique ?

Notre but se trouvait en outre justifié par l'importance économique du problème de la production fourragère dans le monde à l'heure actuelle.

Pour procéder à cette étude, nous avons choisi comme animal expérimental le mouton adulte placé dans des conditions d'entretien. Nous avons dû écarter, malgré leur intérêt, les mesures sur l'agneau pour lequel la consommation d'ensilage est contre-indiquée et celles sur la brebis en lactation en raison des grandes difficultés matérielles qu'offre une expérience sur ce type d'animal.

PREMIÈRE PARTIE

DONNÉES GÉNÉRALES

Chapitre I

UTILISATION MÉTABOLIQUE DE L'AZOTE CHEZ LE RUMINANT

A. — DÉGRADATION BACTÉRIENNE DANS LE RÉTICULO-RUMEN

La valeur nutritive des matières azotées alimentaires chez le polygastrique dépend de 3 facteurs :

— la capacité de l'animal à les dégrader en composants directement assimilables;

— la valeur intrinsèque de certains de ces composants et des produits de leur catabolisme;

— la valeur potentielle de certains autres après modification par les micro-organismes de la panse.

Les ruminants, dont le régime est essentiellement à base de fourrage, ingèrent un mélange d'azote protéique et non protéique; cette dernière fraction qui dans des produits fourragers conservés, représente souvent une proportion élevée, comporte de nombreuses formes chimiques telles que : peptides, acides aminés libres, acides nucléiques, bases puriques et pyrimidiques, urée, ammoniacque, bêtaïne, choline et alcaloïdes (24, 75). Une proportion considérable de ces matières azotées ingérées subit des transformations sous l'action microbienne dans la panse.

Il est nettement établi que les bactéries et les protozoaires du rumen ont une activité protéolytique (1, 6, 9, 10, 22, 59, 71, 84, 103, 106, 116, 124, 132). Ces micro-organismes désaminent facilement les composants azotés non protéiques alimentaires tels que les acides glutamique et aspartique, la glutamine, l'asparagine, la sérine, l'alanine et l'acide gamma-amino-butyrique (23, 119). EL-SHAZLY (35)

trouve, comme produit finaux, de l'azote ammoniacal et des acides gras volatils dans une proportion équimoléculaire, en plus de CO_2 . Selon WARNER (132), l'addition d'amidon réduit le taux momentané de l'ammoniaque; de plus, l'activité des aminases bactériennes serait plus sensible que celle des protéases à la présence d'azote facilement soluble. L'importance de l'azote ammoniacal comme produit terminal de la dégradation protéique dans le rumen a d'ailleurs déjà été établie par les travaux de Mc DONALD (83-84) et de CHALMERS et collaborateurs (22).

Quel est le sort de l'azote ammoniacal résultant de l'action microbienne au niveau de la panse? Une partie est utilisée pour la synthèse bactérienne des protéines que nous étudierons plus loin: l'autre est résorbée directement dans la paroi du rumen (15, 83). Une relation directe entre la concentration en ammoniaque du sang de la veine-porte et celle du rumen est démontrée par LEWIS et collaborateurs (72).

Alors que Mc DONALD (83) et ANNISON (6) considèrent que les acides aminés libres ne sont pas absorbés au niveau du rumen, DEMAUX et collaborateurs (28) viennent tout récemment de démontrer le contraire chez le mouton : dans leurs conditions expérimentales, l'azote aminé sanguin de la veine ruminale augmente de 44,4 et celui de la veine jugulaire de 33 p. 100 deux heures après administration d'un mélange d'acides aminés dans la panse.

L'azote ammoniacal absorbé est transporté au foie et transformé en urée qui peut être éliminé par la voie urinaire ou ramené en partie dans le rumen par la voie salivaire ou directement par la voie sanguine à travers la paroi de cet organe (HOUPP, 54). Dans le cas où l'apport de cette source d'azote dépasse la capacité de l'uréogénèse hépatique, une partie de cet ammoniaque peut passer dans la circulation générale (30, 112, 113). Selon LEWIS et collaborateurs (72), ce passage a lieu dès que la concentration d'azote ammoniacal atteint 50 mg d'N par 100 ml du jus de panse. Ces auteurs évaluent à environ 14 g la quantité d'ammoniaque qui transite à travers la paroi du rumen en 24 heures chez le mouton. Des variations importantes sont observées suivant le type du régime (43, 44, 115). Les travaux effectués par CUTHBERTSON et collaborateurs (26), CHALMERS et collaborateurs (21, 23), ANNISON et collaborateurs

(7), HEAD (49, 50) et OYAERT (104) font penser que l'absorption d'ammoniaque par la paroi du rumen peut être suffisamment élevée pour que l'efficacité de la matière azotée alimentaire soit sensiblement diminuée.

B. — PROTÉINOGENÈSE BACTÉRIENNE DANS LA PANSE

La synthèse de protéines à partir de l'ammoniaque par les micro-organismes du rumen est un des phénomènes caractéristiques de la physiologie du ruminant. Dès la fin du XIX^e siècle, ZUNTZ et HAGEMAN (cités par EL-SAMMAN, 33) ont suggéré cette synthèse. LOOSLI et collaborateurs (74) démontrent que 10 acides aminés « essentiels » sont synthétisés à partir de l'urée dans le rumen du mouton et de la chèvre maintenus en régime semi-synthétique protéoprive, supplémenté par 4 p. 100 d'urée. A ce taux d'azote, le bilan de l'animal est toujours positif et les auteurs trouvent 4 fois plus d'acides aminés dans le contenu du rumen que dans l'aliment. Les études d'OYAERT (104), de HOLMES et collaborateurs (53) chez le mouton confirment ces résultats. WELLER (134) démontre que la composition de l'hydrolysate des protéines de la micropopulation du rumen est constante et que les protozoaires sont plus riches en acides aminés, particulièrement en lysine, que les bactéries. Les coefficients de digestibilité et les valeurs biologiques des préparations de ces protéines chez le rat sont les suivants :

MATIÈRE PROTÉIQUE BACTÉRIENNE DE RUMEN EN PROVENANCE DE	C. U. D. VRAI	V. B.
Mouton à l'herbe (Reed et al., 109)	62	80
Mouton en bergerie (—).	65	78
Vache (McNaught et al., 86, 87).	73	88
Vache (—).	74	81

La quantité de protéines bactériennes susceptibles d'être synthétisées dans le rumen varie selon les auteurs. HASTINGS (48) émet l'hypothèse que l'azote alimentaire pourrait être transformé dans sa totalité en protéines bactériennes avant de quitter le rumen; mais la plupart des données expérimentales ne confirment pas cette

hypothèse. Ainsi, MOIR et collaborateurs (95) estiment qu'environ 50 p. 100 de l'azote alimentaire subit cette transformation chez le mouton.

Chez le bovin, la quantité de protéines bactériennes susceptibles d'être synthétisées en 24 heures serait d'après KOHLER (61) de 23 g, d'après ELSDEN et collaborateurs (34) de 180 g et d'après MC NAUGHT (85) d'au moins 75 g; PEARSON et collaborateurs (106) sur la base de leurs résultats *in vitro* aboutissent à 450 g de protéines microbiennes pour 75 kg de contenu de rumen.

Il semble possible de conclure que l'ammoniaque formé dans le rumen, à partir des matières azotées de la ration, constitue un élément fondamental du métabolisme azoté chez le ruminant; de son devenir ultérieur dépend pour une très grosse part, l'efficacité azotée finale d'une ration ou d'un aliment. Or, il semble que :

— les micro-organismes de la panse n'utilisent sur la place qu'environ 1/4 à 1/3 de l'ammoniaque libéré, car ce métabolite filtre à travers la paroi du rumen 3-4 fois plus rapidement que ne s'en effectue la synthèse protéique;

— une faible fraction — (10 à 15 %) — de l'ammoniaque échappée du rumen est recyclée dans la panse, la plus grosse part est éliminée sous forme d'urée et d'ammoniaque par la voie rénale d'où une perte sèche d'azote pour l'animal (ZELTER, 139). Il est cependant possible d'améliorer le taux d'utilisation d'ammoniaque pour la protéinogénèse bactérienne au moyen d'un apport approprié de glucides (FERRANDO, 38). « Mais en présence d'un large excès d'ammoniaque, ce remède est peu efficace car il ne permet qu'un contrôle limité de la résorption et de la fuite rénale de cette forme d'azote » (ZELTER, 139).

C. — BESOINS AZOTÉS D'UN POLYGASTRIQUE A L'ENTRETIEN

A condition que l'animal reçoive une quantité d'énergie suffisante, les besoins azotés d'un mouton adulte à l'entretien sont relativement faibles; leur couverture a été étudiée jusqu'ici, plus sous un angle quantitatif que qualitatif.

L'analyse des bilans azotés établis par CHALMERS et collaborateurs (20) sur brebis adultes non gestantes recevant un niveau d'énergie correspondant à 72 p. 100 des normes d'entretien recommandées par le National Research Council des États-Unis montre que des ingestions de l'ordre de 0,9 g de matières azotées digestibles ($N \text{ digestible} \times 6,25$) par kg de poids vif conduisent à des bilans systématiquement négatifs; il faut au moins 1 g pour atteindre l'équilibre. Dans cette étude, le rapport théorique entre la quantité de matières azotées digestibles et les pertes d'azote endogène qui permet cet équilibre sont au minimum de 1,8. En admettant que valeur biologique de l'azote des régimes mixtes soit de l'ordre de 50, la couverture de la dépense minimum doit être le double de la perte tissulaire correspondante (140). Considérant que la perte métabolique fécale est directement proportionnelle à la quantité de matière sèche ingérée et supposant que les animaux reçoivent une quantité d'énergie assurant l'entretien, ZELTER et collaborateurs (140) calculent que l'équilibre du bilan est atteint chez un mouton avec un apport de 1,2 g de matières azotées digestibles par kg de poids vif. Cette quantité de matières azotées est proche de celle donnée par HOMB et collaborateurs (52).

D. — DÉPENSE ENDOGÈNE URINAIRE SPÉCIFIQUE

Selon ALBANÈSE (2), la discrimination entre azote exogène et endogène comme FOLIN (39) l'envisage, n'est pas conciliable avec la conception de l'état dynamique du métabolisme azoté selon SCHÖNHEIMER (117), mais n'invalide pas pour cela la méthode de détermination de la valeur biologique de THOMAS-MITCHELL (92).

Toutefois, certaines questions se trouvent posées. L'une d'elles concerne les conditions mêmes de la mesure de la dépense azotée endogène. Certains considèrent celle-ci comme le résultat de toutes les dégradations y compris celle des réserves corporelles d'azote. BURROUGHS et collaborateurs (19) préconisent, pour les mesures du métabolisme endogène, de veiller à ce que l'ajustement d'azote urinaire au niveau endogène soit établi sur un sujet dont le régime

passé d'un niveau azoté normal à un niveau faible ou nul; ce phénomène ne se réalise qu'avec un certain délai (94). Il se pose dès lors le problème de la détermination de la durée de déplétion permettant une mesure correcte de l'excrétion d'azote endogène; une déplétion insuffisante peut expliquer les divergences entre valeurs rapportées dans des divers essais. Il est admis qu'après dix jours de régime protéoprive, les données enregistrées sont valables. Chez le mouton, la grandeur de la dépense endogène s'établit selon les auteurs à :

N URINAIRE ENDOGÈNE AVEC LES RÉGIMES PROTÉIPIRIVES :

Auteurs	g d'N/kg de poids vif
Ritzman et coll. (114)	0,0333
Sotola (123)	0,0331
Hutchinson et coll. (56)	0,0630 (*)
Smut et coll. (120)	0,0350
Miller et coll. (89)	0,0370
Harris et coll. (47)	0,0333
Hamilton et coll. (46)	0,0276 (*)

(*) Éliminés de la moyenne

Malgré la diversité des conditions expérimentales, ces mesures aboutissent à des valeurs assez voisines dont la moyenne est de 0,034 g d'azote par kg de poids vif, valeur dont nous nous servirons pour le calcul de nos résultats expérimentaux.

E. — DÉPENSE MÉTABOLIQUE FÉCALE

Il est évident que les matières fécales contiennent les résidus alimentaires non absorbés aussi bien que des éléments en provenance du tractus digestif et de ses glandes sécrétoires. A cette dernière catégorie, appartiennent la bile, les sucs digestifs, les desquamations de la muqueuse intestinale et la flore digestive non digérée par l'organisme.

L'évaluation de ces pertes métaboliques inéluctables au cours des processus digestifs est indispensable pour mesurer la digestibilité vraie et la valeur biologique par la méthode de THOMAS-MITCHELL. La mesure de cette fraction métabolique fécale peut se faire par diverses méthodes.

a) *Évaluation in vitro.* — MORGEN et collaborateurs (96) trouvent que l'azote métabolique fécal déterminé par traitement enzymatique à la pepsine-HCl varie sensiblement suivant la composition fécale et que cette méthode ne dissout pas la totalité de l'azote métabolique fécal. Ces auteurs proposent qu'un deuxième traitement enzymatique à la trypsine suive le premier. KRZYWANEK (62) propose que, pour cette méthode, seule la matière fécale fraîche soit traitée.

ASTHON (8) détermine l'azote métabolique fécal en dialysant à l'eau courante pendant 18 heures, des matières fécales fraîches de bovin après tamisage à travers un « tissu de nylon ». Il obtient 0,44 g en moyenne d'azote « dialysable » par 100 g de matière sèche ingérée; cette quantité varierait chez le bovin en fonction du taux de matière sèche fécale et du poids vif du sujet.

Malgré un manque de précision sur la technique employée par cet auteur, nous avons essayé cette méthode dans notre étude. Les valeurs moyennes ainsi obtenues sont de 0,08 g d'azote fécal dialysable par 100 g de matières sèches ingérées; elles sont extrêmement faibles et inférieures à celles observées *in vivo*. Dans ces conditions, nous avons opté pour la méthode de MORGEN (96) dans l'une de nos expériences.

b) *Évaluation in vivo avec régime protéoprive.* — Certains auteurs ont réalisé avec succès des mesures d'azote métabolique fécal chez le mouton avec des régimes très pauvres ou exempts d'azote. Leurs résultats expérimentaux sont cités ci-après.

AUTEURS	ORIGINE ET TAUX DE CELLULOSE WEENDE	TAUX D'AZOTE	NMF % M. S. ING.
	(%)	(%)	(g)
Sotola (123)	Paille blé 15	0,11	0,659
Turk et coll. (130)	Paille blé plus cellulose pure 19	0,26 à 0,31	0,549
Harris et coll. (47)	— —	0,14	0,555
Miller et coll. (90)	— 21	0,17	0,440
Miller et coll. (90)	— 21	0,44	0,561
Ellis et coll. (32)	« Solka flock » —	0,004	0,239
Grainger et coll. (42) . . .	— —	—	0,376(*)

(*) Chez le bélier adulte.

Il ressort de ce tableau que, suivant les types de régime utilisés, l'azote métabolique fécal diffère nettement et s'étale de 0,239 à 0,659 g d'azote par 100 g de matière sèche ingérée. Ces données extrêmes sont obtenues, l'une avec un apport de cellulose pure, l'autre avec de la paille de blé. La moyenne des données existantes se situe aux environs de 0,40 g.

Cette technique de détermination directe de l'azote métabolique fécal chez le polygastrique n'est pas sans soulever des problèmes plus ou moins graves. Après quelques jours de consommation d'un tel régime, les sujets expérimentaux refusent parfois toute la nourriture. C'est ainsi que nous avons dû abandonner notre essai chez des moutons au bout de 6 jours avec un régime très pauvre en azote. D'autre part, une ration protéiprive utilisée pour ce type d'expérience peut perturber profondément les fonctions du rumen en ralentissant la prolifération et les activités métaboliques de sa micropopulation. Il en résulterait une dégradation incomplète du bol alimentaire et plus spécialement des constituants membranaires; ces derniers pénétreraient en surcharge dans la suite du tube digestif d'où le risque d'augmenter les pertes azotées fécales.

De plus, comme nous l'avons déjà remarqué, la nature de la cellulose joue : « cellulose pure », cellulose de paille de blé ou cellulose de luzerne peuvent entraîner des variations importantes.

MUKHERJEE et collaborateurs (97) obtiennent, avec de la paille de blé seule chez trois bœufs : 0,41, 0,45 et 0,39 g d'azote métabolique fécal par 100 g de matière sèche ingérée; avec de la paille d'avoine et du foin d'« Izatnager » dont les coefficients de digestibilité de matière sèche correspondants sont 75,9 et 74,1, les valeurs observées chez deux sujets sont de 0,22 et 0,26 g. Dans un autre cas, ce dernier régime donne 0,35 et 0,40 g pour des coefficients de digestibilité de 59 et de 52,6. Dans leur ensemble, ces données nous font penser que la quantité d'azote métabolique fécal varie considérablement suivant la quantité de l'indigestible, le type du régime utilisé et l'individu.

Mais nous ne parlerons pas de la méthode d'extrapolation *in vivo* (TITUS, 128) qu'il nous était impossible de mettre en œuvre et qui conduit à des résultats voisins (BLAXTER, 14).

Malgré les difficultés rencontrées dans l'évaluation de cette

dépense métabolique et compte tenu de l'insuffisance des données rapportées à la matière sèche fécale, il nous semble préférable d'adopter pour le calcul de nos résultats expérimentaux, la valeur moyenne qui ressort du tableau de la page 18, soit 0,40 g d'azote métabolique fécal par 100 g de matière sèche ingérée.

Chapitre II

MÉTHODES ET CONSERVATION DES FOURRAGES

Le principal objectif de la conservation des fourrages verts est la protection la meilleure et la moins onéreuse possible des éléments nutritifs accumulés dans la plante.

Les modes traditionnels de conservation de fourrages verts pratiqués à l'heure actuelle et qui rentrent dans le cadre de notre expérience sont la fenaïson et l'ensilage. Il nous semble donc utile d'étudier certains facteurs qui conditionnent le succès de ces modes de conservation.

A. — FENAISON

Le succès de la fenaïson dépend des conditions météorologiques. Un lessivage prolongé à l'eau de pluie enlève à un fourrage 20 p. 100 de protides entre autres éléments nutritifs (137). Les pertes sont insignifiantes si une pluie torrentielle survient aussitôt après la coupe mais augmentent considérablement s'il pleut au cours de la seconde ou troisième journée de fanage ou au moment de la mise en tas, une fois la dessiccation achevée (82). La répartition des causes de pertes d'éléments nutritifs enregistrées au cours de la fenaïson au sol sont d'après les données citées par ZELTER (137) :

CAUSES ET RÉPARTITION DES PERTES AU SOL	PERTE EN % DE M. S.
Respiration selon condition atmosphérique.	4 à 5
Chute mécanique des folioles en cas d'une légumineuse (pertes d'azote essentiellement)	3 à 35
Lessivage par la pluie (pertes d'éléments solubles assimilables tels que sucres, N, P)	5 à 11

BRANDSMA et collaborateurs (16) signalent, pour l'herbe de prairie fanée au sol ou sur siccateur, 30 p. 100 de pertes de matière azotée totale et 41,5 p. 100 de protéine vraie dont respectivement 24,4 et 40,2 p. 100 sont constatés au sol. La réduction des pertes dues au séchage naturel d'un fourrage pose essentiellement le problème de l'accélération des opérations. Les pertes sont fort légères pour une fenaïson d'une durée relativement courte : il n'y a pas de modification de la teneur en matière azotée totale même après 12 heures de fenaïson, mais il y a diminution du taux de protéine vraie, même après un court préfanage. L'activité hydrolytique y est sensible comme le démontre le passage du taux d'azote non protéique de 15 à 37,2 p. 100 d'azote total après quelques heures de fanage d'une luzerne (146). MAC PHERSON (76) signale une dégradation de 16 p. 100 de la protéine vraie, après 24 heures de fanage qui fait passer la teneur en matière sèche de 24 à 41 p. 100.

La fenaïson au sol d'un fourrage par rapport à l'état de vert entraîne une baisse sensible de la digestibilité des divers constituants (16), comme il ressort du tableau ci-après montrant de plus que l'activité bactérienne au cours de la maturation du foin pendant son stockage diminue encore cette digestibilité.

COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE DE MATIÈRES AZOTÉES ET DE PROTÉINES VRAIES D'HERBE DE PRAIRIE (MOYENNE DE 3 MOUTONS) (*Brandsma et coll.*, 16)

	COEFFICIENT D'UTILISATION DIGESTIVE	
	Matière azotée totale	Protéine vraie
Herbe verte.	64,1	57,8
Foin avant stockage.	57,5	51,4
Foin après stockage.	49,8	45,4

B. — ENSILAGE

Le procédé fait appel à la voie fermentaire. La masse végétale verte, mise à l'abri dans un silo, subit une fermentation spontanée par suite de l'intervention de la population bactérienne du milieu et des enzymes végétales. Cette action conjointe modifie sensiblement

la composition originelle du fourrage. Les protides sont remaniés et peuvent engendrer des quantités élevées des formes azotées simples qui déprécie la valeur azotée de l'aliment. L'intensité de ces phénomènes et leur orientation dépendent des conditions régnant dans le milieu du silo. Les pertes en éléments nutritifs occasionnées par ce mode de conservation d'un fourrage sont inhérentes à la nature même du procédé de conservation : respiration cellulaire, activité bactérienne et parfois écoulement par drainage de sève interstitielle riche en éléments nutritifs solubles (143).

Parmi les facteurs qui interviennent dans ce procédé, l'anaérobiose, la teneur en matière sèche et la concentration des sucres immédiatement fermentescibles en acide lactique exercent une influence qui est de loin prépondérante.

Les traitements proposés sont nombreux et il existe des arguments en faveur de l'efficacité de chacun d'eux. Ces procédés peuvent être classés en deux catégories : adjonction d'agents de conservation et traitement physique.

L'agent de conservation peut être utilisé soit pour stimuler la fermentation lactique par enrichissement du milieu en sucres fermentescibles par la microflore lactique; soit pour inhiber l'activité bactérienne indésirable grâce à des substances à effet bactériostatique ou par abaissement prompt du pH des matériaux ensilés au moyen d'une acidification artificielle. Celle-ci enraye simultanément

ÉTAT DE LA PROTÉOLYSE AU 112^e JOUR DE CONSERVATION

PROCÉDÉS	NATUREL	A.I.V.	MÉTABI-SULFITE
	(%)	(%)	(%)
Perte d'azote protéique.	50,8	28,7	55,3
Taux de destruction de N des acides aminés basiques (lysine + arginine + histidine).	65,8	13,4	38,6
N thréonine	66,0	32,0	32,1
N acide glutamique.	57,9	23,4	30,0
Taux de synthèse d'alpha-alanine . .	103,0	5,4	72,5

	Expérience '57		Expérience '58			
	A.I.V.	Méta.	Kofa	Naturel	A.I.V.	Méta.
N—NH ₃ p. 100 N—tot.	9,5	13,0	15,2	17,5	7,3	18,3

l'activité respiratoire végétale et l'activité bactérienne. Dans le cadre de notre étude, il convient de borner nos discussions à l'un de ces agents bactériostatiques à action sélective; le *metabisulfite de sodium* ($\text{Na}_2 \text{S}_2 \text{O}_5$) que nous avons expérimenté en raison de sa fréquente utilisation dans la pratique.

Le metabisulfite de sodium oriente favorablement la dégradation des glucides en acide lactique et son action est très constante. Mais son effet protecteur contre la protéolyse dans le cas de la luzerne est contestable comme le témoignent les données de ZELTER et collaborateurs (145, 146).

Parmi les traitements physiques, le préfanage réalise un abaissement du taux d'humidité du fourrage jusqu'aux environs de 65 p. 100, suivant les conditions météorologiques; c'est une autre pratique courante particulièrement efficace (17, 98, 99, 100, 127). Le succès de cette technique est conditionné par :

— la durée de l'exposition aux radiations solaires qui doit être aussi courte que possible;

— la teneur en matière sèche qui ne doit pas excéder 35 à 40 p. 100; au delà de ce seuil, le tassement est rendu difficile, ce qui peut occasionner des moisissures et l'échauffement de l'ensilage;

— le hachage, le tassement et la compression.

L'influence de la durée de préfanage sur l'état de conservation d'une luzerne ressort du tableau ci-après (143) :

Durée du préfanage (heure) . . .	0	3	5	7	9
Mise en silo :					
M.S. initiale (%)	19,9	25,2	31,7	35,8	39,2
Sucres solubles (%)	2,5	2,3	3,7	4,3	3,9
N non protéique % N total. .	21,8	25,4	26,9	30,4	27,1
N—NH ₃ % N total.	1,5	3,0	2,7	3,9	1,9
Sortie de silo (86° jour) :					
Acide butyrique (‰)	9,0	1,6	—	—	—
Acide lactique (‰)	0,5	8,0	13,1	10,6	11,5
N non protéique % N total. .	75,5	72,5	69,4	61,6	67,6
N—NH ₃ % N total.	23,9	18,8	13,5	9,8	9,0

Il faut remarquer l'absence d'acide butyrique et la faible teneur en ammoniacque malgré la dislocation importante des protéines, lorsque le taux de matière sèche dépasse 30 p. 100. Cela confirme qu'une teneur en matière sèche située entre 35 et 40 p. 100 est particulièrement favorable à la réussite de l'ensilage de luzerne. La sécurité du préfanage peut être attribuée à l'élévation des concentrations en sucres solubles et en matière sèche et à la suppression des pertes par drainage.

*
* *

Quoiqu'il en soit, lors de la conservation d'un fourrage par fenaison ou par ensilage, il se produit une dislocation de matières azotées plus ou moins importante et des pertes de principes nutritifs en particulier de protides ce qui conduit à un abaissement de la valeur nutritive du produit final. Dans le cas de la fenaison, il s'y ajoute une baisse sensible de la digestibilité comme nous l'avons déjà signalé. Au cours de l'ensilage, la dégradation de protéines originales est beaucoup plus intense; en effet, la fraction d'azote soluble d'une luzerne qui représente avant ensilage 22,66 p. 100 de l'azote total passe suivant les techniques à 49,1-67,7 p. 100 (145).

Le problème qui se trouve donc posé et que nous allons étudier est de savoir dans quelle mesure ces formes d'azote dégradé sont-elles susceptibles d'être utilisées efficacement pour la couverture du besoin d'entretien chez le mouton. Nous savons de ce qui précède que, grâce à la capacité de protéinogénèse que possèdent les micro-organismes de la panse de cet animal, une telle utilisation existe mais nous en ignorons le degré.

DEUXIÈME PARTIE

TRAVAUX PERSONNELS

MÉTHODES EXPÉRIMENTALES ADOPTÉES
ET RÉSULTATS

Chapitre I

MÉTHODES D'ÉVALUATION DE LA VALEUR NUTRITIVE DE LA FRACTION AZOTÉE DES FOURRAGES

Les méthodes employées pour l'évaluation de la valeur nutritive de la fraction azotée d'un fourrage chez le polygastrique peuvent être classées en 2 catégories : expérimentation *in vivo* et expérimentation *in vitro*.

Nous avons adopté pour nos recherches, la méthode *in vivo*. Nous développerons les critères que nous avons utilisés dans le cadre de ces études et nous discuterons les facteurs qui peuvent influencer les mesures effectuées avec cette technique.

A. — MESURE DE LA DIGESTIBILITÉ APPARENTE

La mesure la plus simple est la digestibilité apparente calculée selon la formule :

$$\text{C.U.D. apparent} = \frac{\text{N ingéré} - \text{N excrété fécal}}{\text{N ingéré}} \times 100$$

La précision des résultats est influencée par certains facteurs tels que la durée de l'expérience, les niveaux de matière sèche et d'azote ingérés et l'individualité du sujet expérience.

B. — MESURE DE LA DIGESTIBILITÉ VRAIE

Nous avons vu que, dans le cas de l'azote, l'excrété fécal comporte, outre l'indigestible d'origine alimentaire, des éléments en provenance de l'organisme lui-même constituant l'azote métabolique fécal.

En défalquant de l'azote fécal total la perte d'azote métabolique fécal, on obtient le coefficient de digestibilité réelle comme suit :

$$\text{C.U.D. réel} = \frac{\text{N ingéré} - (\text{N fécal total} - \text{N métabolique fécal})}{\text{N ingéré}} \times 100$$

Cette méthode d'évaluation de l'azote résorbable d'origine alimentaire est plus correcte que celle de la digestibilité apparente: mais son application appelle chez le polygastrique de sérieuses réserves discutées précédemment (voir pp. 16-20).

C. — MESURE DE L'EFFICACITÉ AZOTÉE

Les méthodes directes de détermination de l'efficacité protidique doivent prendre en considération les processus de la digestion, de l'absorption et de l'assimilation (45). Si nous mesurons pendant une période donnée, l'azote ingéré et excrété par la voie digestive et rénale, nous pouvons calculer par différence, la quantité retenue par l'organisme, c'est-à-dire, le bilan azoté global. Le bilan positif exprime une prédominance des phénomènes d'anabolisme et celui négatif, une prédominance des phénomènes de catabolisme. Le rendement apparent de l'opération rapporté à l'azote apparemment absorbé nous permet de calculer le *coefficient de rétention azotée* selon la formule :

$$\frac{\text{Nda}-\text{Nu}}{\text{Nda}} \times 100$$

formule où Nda = azote digestible apparent et Nu = azote urinaire. Si l'on rapporte l'azote fixé par l'organisme non pas à l'azote apparemment digéré mais à celui réellement résorbé (digéré vrai), on peut calculer un *coefficient de « rétention vraie »* dont la formule est égale à :

$$\frac{\text{Ndv}-\text{Nu}}{\text{Ndv}} \times 100$$

Ce coefficient est surtout intéressant lorsque l'indigestible azoté fécal est faible en valeur absolue par rapport à la fraction métabolique

fécale car il permet de mieux dissocier certains phénomènes, et c'est justement notre cas avec des régimes d'entretien.

Mais en réalité, cette dernière forme d'expression laisse encore subsister la fraction d'azote urinaire endogène qu'il y a lieu de défalquer comme l'indiquent THOMAS (126) et MITCHELL (91) qui aboutissent à la notion de *valeur biologique* exprimée comme suit :

$$\text{V.B.} = \frac{I - (F - F_m) - (U - U_e)}{I - (F - F_m)} \times 100$$

formule dans laquelle, I = azote ingéré, F = azote fécal total, U = azote urinaire total, F_m = azote métabolique fécal et U_e = azote urinaire endogène.

Malgré sa précision théorique, la signification de la « valeur biologique » est, chez le ruminant, fortement discutée en raison des processus qui se passent au niveau du réticulo-rumen. En effet, comme nous l'avons dit chez le ruminant, une part importante des protides alimentaires est, grâce à l'action bactérienne, dégradée et transformée en protéines microbiennes au niveau du rumen. En conséquence, la valeur biologique que nous mesurons chez le ruminant n'est pas exclusivement la valeur biologique de l'azote ingéré mais celle du mélange de la fraction alimentaire non dégradée au niveau de la panse et des protéines microbiennes synthétisées dans cet organe à partir des formes azotées solubles. La relation liant chez le non-ruminant la teneur en acides aminés essentiels à la valeur biologique de l'azote alimentaire perd donc beaucoup de signification chez le ruminant (63).

La valeur biologique s'abaisse avec l'élévation du niveau azoté du régime aussi bien chez le monogastrique (41) que chez le polygastrique (33). C'est ainsi que chez le mouton, des niveaux azotés expérimentaux allant de 10 à 21 p. 100 font passer la valeur biologique des protéines d'un fourrage de 79 à 44.

L'intensité de décroissance de la valeur biologique diffère d'autre part avec le type de la protéine ingérée; de plus chez le polygastrique, la nature et la quantité de glucides présents simultanément dans le rumen avec les protéines, influencent par le jeu de l'activité bactérienne, cette valeur.

Considérant par ailleurs, la difficulté d'évaluer l'azote métabolique fécal chez le ruminant, on comprend que la valeur biologique acquiert dans le cas de cet animal, une signification limitée.

Ces réserves nous conduiront à attacher davantage d'importance à la notion de rétention azotée sur laquelle nous baserons l'interprétation de nos résultats; les valeurs biologiques de nos fourrages expérimentaux seront mentionnées à titre indicatif.

Chapitre II

MATÉRIEL ET MÉTHODES

La réalisation d'une étude expérimentale sur l'efficacité azotée d'un fourrage chez le mouton à l'entretien, offre certaines difficultés.

La constitution d'un lot de sujets homogènes chez une espèce animale génétiquement aussi complexe que le mouton est difficile. Nous nous sommes donc efforcés de limiter l'influence du facteur individuel en choisissant des animaux issus du même troupeau, de poids et d'âge très voisins.

Le très grand nombre de mesures sur animal et de dosages analytiques que nécessite une telle étude, nous a forcés d'autre part à réduire le nombre de sujets d'expérience à trois, ce qui nous a obligés simultanément à adopter la technique expérimentale des « périodes successives » au lieu de celles des « groupes comparables ».

L'utilisation exclusive d'un aliment dont on désire estimer l'efficacité azotée assure le maximum de précision aux mesures. Cela suppose qu'à lui seul, il puisse couvrir exactement les divers besoins nutritionnels essentiels de l'animal. Or, notre aliment expérimental est un fourrage de luzerne, caractérisé par un apport calories / matières azotées trop faibles face aux besoins du mouton à l'entretien. De ce fait, la quantité de matière sèche de luzerne susceptible de satisfaire le besoin énergétique de cet animal lui apporte un très large excès de protides qui fausserait inéluctablement le taux d'utilisation protidique. La seule solution qui s'impose à nous est de restreindre le niveau de matière sèche de luzerne ingéré de manière à assurer rigoureusement la couverture du besoin en azote et de pallier le déficit calorique par un aliment énergétique aussi pauvre que possible en azote assimilable. Cet artifice n'est pas sans inconvénient : l'apport de glucides en favorisant l'utilisation bactérienne des formes azotées solubles risque de masquer partiellement l'effet propre du traitement de conservation. Mais cet inconvénient a des conséquences

nettement plus limitées pour la précision de la mesure de l'efficacité azotée qu'un excès d'azote alimentaire.

Nous avons fait deux séries d'essais portant sur deux années: la première série, effectuée de septembre 1961 à mars 1962, comporte cinq périodes de mesures: la deuxième, de septembre 1962 à avril 1963, en comporte six. Nos expériences sont schématisées en détail dans le tableau I.

TABLEAU I
SCHÉMA EXPÉRIMENTAL

	PRODUITS ÉTUDIÉS	
	1 ^{re} coupe	2 ^e coupe
Expérience I (1961-62)		
Période expérimentale		
I		Foin
II	Foin	
III	Ensilage méta	
IV	Ensilage préfané	
V		Ensilage préfané
Expérience II (1962-63)		
Période expérimentale		
I		
II	Ensilage méta	
III	Ensilage préfané	
IV		Ensilage préfané
V		Ensilage méta
VI	Foin	Foin

A. — ANIMAUX EN EXPÉRIENCE

Dans les deux expériences, les animaux sont des mâles castrés âgés de 15 à 17 mois au début des essais. On considère que des sujets de cet âge, nourris et élevés dans des conditions normales sont des ruminants adultes.

Dans l'expérience I (61-62), les sujets (n^{os} 16-17-19) sont de race Ile-de-France. Les animaux se sont bien comportés durant toute l'expérience comme le montre leur évolution pondérale (fig. 1).

Dans l'expérience II (62-63) deux animaux sont de race Ile-de-France (n^{os} 23 et 24) et le troisième (n^o 25) est un Mérinos de l'Est.

Les trois sujets sont porteurs d'une fistule permanente du rumen pour étudier, outre les bilans d'azote, la cinétique de l'ammoniogénèse dans la panse. Les travaux effectués par REID et collaborateurs (111) chez le mouton ne montrent aucune différence significative au point de vue des coefficients d'utilisation digestive des matières sèches, organiques et azotées entre un sujet porteur d'une fistule de rumen et un animal normal. Mais nous avons observé que, placés dans les cages métaboliques individuelles, les moutons porteurs d'une fistule de panse, sont moins résistants à des épreuves de longue durée que des sujets intacts.

B. — RÉGIME ALIMENTAIRE

a) *Fourrages*. — Notre fourrage expérimental est une luzerne (*Medicago falcata*) de la variété Poitou en deuxième et troisième année de pousse; ce fourrage provient d'une même parcelle où la luzerne verte coupée en une seule fois a été répartie, après hachage et homogénéisation aussi soignée que possible, en trois fractions qui ont subi les traitements ci-après :

— fenaïson sur siccateur qui sert de terme de comparaison;

TABLEAU II

CARACTÉRISTIQUES DU FOURRAGE EXPÉRIMENTAL AU MOMENT DE LA COUPE

EXPÉRIENCES COUPE	I (1961-62)		II (1962-63)	
	1 ^{re}	2 ^e	1 ^{re}	2 ^e
Date de la coupe.	8 juin	11 juillet	5 juin	7 juillet
Taux de luzerne (%)	98	93	95	95
Taux de graminée et autres espèces (%).	2	7	5	5
<i>État végétatif de la luzerne :</i>				
Taux de floraison.	5	18	0	27
Rapport feuille/tige (1)	38,9	51,5	66,7	69,5
Taux initial de la matière sèche . . .	23,45	21,90	21,05	21,00
Conditions météo	Ensol.	Couvert et orage	Ensol.	Gris et un peu de sol. pas de pluie

(1) Détermination effectuée sur la luzerne échantillonnée sur le champ, par séparation des feuilles de la tige à la base de pétiole suivie par la détermination de matière sèche de chacune des deux fractions.

TABLEAU III

RÉPARTITION DES FORMES AZOTÉES DANS LES FOURRAGES INITIAUX

	N total % Mat. sèche	N non-prot. % N total	N—NH ₃ % N total
<i>Expérience I (1961-62)</i>			
1 ^{re} coupe			
Destination :			
Foin ou ensilage méta	3,67	22,33	1,71
Ensilage préfané (*)	3,45	22,90	1,39
<i>Expérience II (1962-63)</i>			
1 ^{re} coupe			
Destination :			
Foin ou ensilage méta	3,34	23,36	7,32
Ensilage préfané (*)	3,32	26,68	6,77
Destination :			
Foin ou ensilage méta	3,39	22,75	6,11
Ensilage préfané (*)	3,37	25,28	5,76

(*) Après préfanage, au moment de la mise en silo.

— ensilage au métabisulfite de sodium. Cet agent bactériostatique est utilisé à la dose de 4 kg par tonne de fourrage vert dans les conditions précédemment étudiées par ZELTER et collaborateurs (144);

— ensilage préfané; la durée de préfanage est variable en fonction des conditions météorologiques.

Les caractéristiques du fourrage expérimental au moment de la coupe ainsi que la répartition des formes azotées dans les fourrages initiaux sont détaillés dans les tableaux II et III.

b) *Aliment complémentaire énergétique.* Il est difficile de faire consommer à un mouton un aliment protéoprive; nous avons dû avoir recours à des sources alimentaires plus appétantes, telles la paille d'avoine et le marc de pomme qui apportent un peu de protéine, de faible digestibilité (67, 68).

La composition de notre aliment complémentaire énergétique est la suivante : paille d'avoine, 31,0 %; marc de pomme, 25,0 %; anijel (fécule de maïs), 25,0 %; cérélose, 12,0 %; huile de maïs, 3,6 %; phosphate monosodique, 1,4 %; sel, 1,5 %. Il apporte 0,62 g de matière azotée digestible par 100 g de matières sèches.

c) *Établissement des rations expérimentales.* — Avant le début de chaque essai, nous déterminons la digestibilité des aliments par la méthode *in vitro* à la pepsine-HCl (142) afin d'avoir une idée approximative de leurs teneurs en matières azotées digestibles. L'évaluation préliminaire de la valeur énergétique est faite, pour les fourrages, à l'aide de table hollandaise (79) à partir des teneurs en cellulose Weende et en matière minérale, pour l'aliment complémentaire énergétique d'après les tables de calcul de la valeur fourragère des aliments composés (64).

Les besoins énergétiques d'entretien du mouton pendant son séjour dans une bergerie calme, compte tenu des dépenses d'énergie correspondant à la station debout et aux déplacements qu'il effectue pour prendre sa nourriture, s'expriment selon LEROY (66) de la manière ci-après :

Poids vif en kg	Besoin d'entretien par jour en énergie nette (unité fourragère)
40	0,53
50	0,59
60	0,65

Ces normes sont en bon accord avec celles d'autres auteurs (11, 18, 80, 107) qu'ils expriment en énergie métabolisable.

Quant aux besoins azotés, la norme adoptée est, de 1,2 g de matières azotées digestibles par kg de poids corporel pour un sujet qui ingère 1 200 g de matières sèches par jour (voir pp. 11, 13).

Le calcul des rations journalières est effectué sur la base des normes ci-dessus et de la composition des aliments déterminés par l'analyse préliminaire.

Nous distribuons de l'eau distillée comme eau de boisson.

C. — CONDITIONS DE L'EXPÉRIENCE

La durée de la période préliminaire ainsi que celle de bilans est un facteur de première importance pour l'exactitude des résultats. Elles doivent être en rapport avec celle de la durée du transit gastro-intestinal. Selon LLOYD (73), la zone de variation de la digestibilité

propre à un aliment donné est atteinte chez le mouton après 4 à 5 jours de préexpérimentation et que la prolongation de cette dernière jusqu'à un mois, ne modifie pas les résultats. En outre, cette période doit également laisser aux sujets le temps nécessaire pour s'adapter à la ration et permettre à leur tube digestif d'atteindre l'équilibre physiologique correspondant, surtout lorsque l'élément de variation du régime est une substance susceptible d'entraîner des modifications importantes dans l'écologie de la population microbienne du tube digestif et c'est notamment le cas de l'ensilage.

Pour permettre une élimination des erreurs dues aux variations journalières des émissions fécales qui se produisent même dans le cas d'ingestion constante de nourriture, les auteurs recommandent une période expérimentale suffisamment longue (90, 121, 122). Une étude statistique récemment réalisée au laboratoire sur la variation de la digestibilité des fourrages verts ou conservés de luzerne chez le mouton (127) montre qu'il n'y a pas de différence significative entre les coefficients de digestibilité calculés sur des périodes expérimentales de 6, 8 ou 10 jours. Toutefois, ces travaux nous indiquent une variation plus grande en cas des foin qu'en cas des fourrages verts ou conservés en ensilage.

Nous avons donc prévu une période de mesure de 10 jours pour tous les régimes. La période préparatoire est elle-même de 10 jours si l'animal consomme le même type de régime; elle est portée à 3 semaines en cas de changement de régime de foin à ensilage ou d'ensilage à foin.

Les animaux sont maintenus, pendant les 10 jours de mesure et les 10 jours précédents, dans des cages individuelles à bilan permettant le contrôle rigoureux des ingesta et assurant une séparation absolue des émissions urinaires et fécales. Un harnais individuel (141) permet la collecte directe des émissions urinaires dans un bocal. Les émissions fécales tombent directement dans un bac et ne sont pas souillées par les urines.

Avant le commencement des expériences, chaque sujet est tondue afin que la récolte des émissions urinaires puisse être parfaite et la fistule est nettoyée et resserrée la veille de chaque période de mesure pour éviter les fuites possibles de jus de panse qui pourraient contaminer les émissions urinaires et fausser les mesures.

Les moutons sont pesés avant et après chaque période de mesure pendant 3 jours consécutifs afin de minimiser les erreurs dues aux variations journalières, variations non négligeables chez le ruminant.

La ration journalière est distribuée en 2 repas identiques à 9 heures et 17 heures.

L'eau est laissée à la libre disposition des animaux; la distribution d'eau distillée commence 4 jours avant la période de mesure.

D. — MESURES, PRÉLÈVEMENTS ET CONSERVATION DES ÉCHANTILLONS

a) *Ingesta*. — En périodes expérimentales, tous les ingesta sont ontrôlés individuellement et journellement au gramme près.

L'aliment énergétique complémentaire est à l'état de granulés. Toutes les rations journalières individuelles sont préparées, en une seule fois, juste avant le début des périodes de mesure et conservées en sacs; au même moment, un échantillon est prélevé et analysé.

Foin. — La masse totale de foin destinée à être consommée pendant les périodes préliminaire et expérimentale est hachée très court et homogénéisée autant que possible. Lors de la pesée des rations journalières, un échantillon est prélevé et son taux de matière sèche est déterminé. Les échantillons journaliers sont cumulés au cours de la période de mesure et réunis en un seul sur lequel sont effectués les divers dosages chimiques.

Ensilage. — L'échantillon servant au calcul des rations est prélevé dans le silo selon une méthode décrite par ZELTER et collaborateurs (146). L'échantillon journalier au cours des périodes de bilan est prélevé au moment de la préparation des rations. L'analyse chimique est effectuée sur les échantillons de chaque sous-période (expérience I) ou chaque période (expérience II) cumulés à l'état frais et conservés au congélateur (-15 à -20 °C).

Les refus d'aliment, lorsqu'il y en a, sont pesés, analysés et leurs éléments nutritifs défalqués des éléments distribués afin de connaître l'ingesta réel.

b) *Excréta.* — Les émissions urinaires et fécales individuelles sont collectées et pesées; chaque matin avant la distribution du repas matinal, l'évaluation du volume urinaire est faite à partir des mesures pondérales et densimétriques. Pour tous les essais, la première récolte des émissions urinaires et fécales est faite 24 heures après le premier repas de la période de bilan. Toutes les pesées sont effectuées sur une balance sensible à 0,5.

Urines. — Afin d'éviter toute perte d'azote, 20 ml d'acide sulfurique à 50 p. 100 (p/p) sont, au cours de l'expérience I, ajoutés dans chaque bocal destiné à recueillir l'urine de 24 heures. Pour l'expérience II, où nous dosons l'urée et l'ammoniaque, nous utilisons un mélange de 25 ml d'acide sulfurique à 25 p. 100 (p/p) et 2 ml de thymol qui empêche les transformations éventuelles des composants azotés urinaires (142). Les échantillons journaliers d'urine, 5 p. 100 en volume, prélevés après homogénéisation et destinés à l'analyse chimique, sont conservés au réfrigérateur dans des flacons individuels; ils sont mélangés et homogénéisés pour chaque sous-période de 5 jours au moment de l'analyse chimique.

Fèces. — Immédiatement après les collectes, les matières fécales sont acidifiées par pulvérisation d'acide sulfurique à 20-25 p. 100 (p/p) afin d'éviter toute perte d'azote. L'acidification est faite de telle façon que la suspension de 5 g de matière fécale fraîche broyée dans un mixeur avec 200 ml d'eau distillée ait un pH inférieur à 5. Les émissions fécales individuelles sont homogénéisées; deux parties aliquotes (20 % et 5 % du poids frais émis) sont prélevées. La première sert à la détermination journalière de l'humidité et est destinée à constituer l'échantillon moyen de la période en vue de son analyse. La seconde est conservée au réfrigérateur (3-4 °C) en vue du dosage de l'azote sur frais effectué par sous-période de 5 jours sur échantillon cumulé.

c) *Prélèvement de contenu de panse.* — En vue de l'interprétation du mécanisme de l'utilisation de la fraction azotée des rations, nous avons procédé au cours de l'expérience II, le douzième jour du bilan, à une étude cinétique de l'ammoniogénèse au niveau du rumen de

chaque sujet porteur d'une fistule et pour chaque traitement expérimental. Cette cinétique est faite grâce à des prélèvements successifs de jus de panse, opérés par pompage dans la fistule immédiatement avant et $\frac{1}{2}$, 1, $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3, 4, 5, 6 et 7 heures après la distribution du repas matinal; l'intervalle entre les prélèvements a été fixé par des essais préliminaires.

E. — TECHNIQUES UTILISÉES POUR L'ANALYSE CHIMIQUE

Tous les dosages chimiques sont effectués en triple.

Les dosages sont effectués, selon les méthodes officielles (88), pour les matières sèches, minérales et organiques et la cellulose Weende. Les acides gras volatils contenus dans les ensilages sont dosés par la méthode de chromatographie de partage gaz-liquide de JAMES et collaborateurs modifiée par ZELTER et collaborateurs (144).

L'azote total est dosé par la méthode de micro-Kjeldahl dans l'ingesta sur 2 g pour l'aliment énergétique complémentaire et le foin et 5 g pour l'ensilage frais et dans l'excréta sur 5 g de fèces frais ou 5 ml d'urine. Le catalyseur utilisé pour la minéralisation est un mélange de sulfate de cuivre, d'oxyde rouge de mercure et de sulfate de potassium. Une partie aliquote de la liqueur minéralisée est distillée; le distillat est recueilli dans une solution d'acide borique à 1 p. 100 renfermant du vert de bromocrésol et du rouge de méthyle comme indicateur. La titration directe est faite avec du HCl N/50. La matière azotée totale est obtenue en multipliant la teneur en azote par le coefficient de 6,25.

L'azote non protéique contenu dans le foin est déterminé par la méthode de FAUCONNEAU (37) et dans l'ensilage, par celle d'ALLEN et collaborateurs (3). L'azote ammoniacal est dosé selon CONWAY (25) et l'azote uréique dans les urines, selon SCHRAM et collaborateurs (118).

L'azote métabolique fécal est déterminé *in vitro* comme suit : 5 g de matière fécale fraîche broyée par un mixeur sont mis dans un erlenmeyer de 300 ml avec 200 ml d'eau distillée et le milieu est amené à pH 1,75 par une quantité donnée d'HCl à 25 p. 100 (v/v). Dix millilitres de solution pepsique à 2 p. 100 (p/v) filtrée y

sont ajoutés et l'erlenmeyer est placé dans un bainmarie à 40 °C pendant 24 heures avec agitation occasionnelle à la main. Après incubation, la suspension est filtrée sur papier filtre sans cendre et le résidu est lavé deux fois copieusement avec de l'eau distillée. Le résidu est remis dans l'erlenmeyer avec 200 ml d'eau distillée, le milieu est ajusté à pH 7,5 par de la soude en présence d'une quantité donnée de tampon (phosphate monosodique à 10 p. 100 (p/v) et on y ajoute 10 ml de solution trypsique à 2 p. 100 (p/v) filtrée. Après une seconde incubation de 24 heures, la suspension est filtrée et le résidu lavé par l'eau distillée, est minéralisé par la méthode de micro-Kjeldahl déjà décrite. L'azote fécal solubilisé par ces deux incubations est conventionnellement considéré par nous comme étant d'origine métabolique.

Chapitre III

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

La figure 1 et les tableaux IV à XIV, donnent l'ensemble des résultats expérimentaux.

A. — ÉVOLUTION DU POIDS CORPOREL DES SUJETS

Le poids vif des sujets est dans l'ensemble en très légère augmentation au cours de tous les essais (fig. 1). Cela prouve que nos rations expérimentales que les animaux consommaient, assuraient la satisfaction des besoins énergétiques d'entretien et même un très léger gain de poids. Les rares diminutions de poids constatées restent suffisamment faibles pour que l'on puisse les négliger. On peut en conclure que les normes énergétiques d'entretien que nous avons adoptées se trouvent justifiées.

B. — UTILISATION DIGESTIVE DES MATIÈRES SÈCHES ET ORGANIQUES

Les quantités des ingesta et excréta de chacun des sujets sont détaillées dans les tableaux V (expérience I) et VI (expérience II).

Les ingesta effectifs qui sont portés dans ces tableaux sont calculés en tenant compte quantitativement et qualitativement des refus. Ceux-ci sont généralement insignifiants : seul le sujet 24 consommant de l'ensilage préfané de première coupe lors de l'expérience II n'a ingéré que 83 p. 100 de sa ration, le dernier jour de la mesure.

Les diverses rations se caractérisent par un taux pratiquement constant de cellulose Weende. Cet élément ne pouvait donc en aucun cas, exercer une action sur les coefficients de digestibilité.

VARIATION DU POIDS VIF INDIVIDUEL DES SUJETS
EXPÉRIMENTAUX

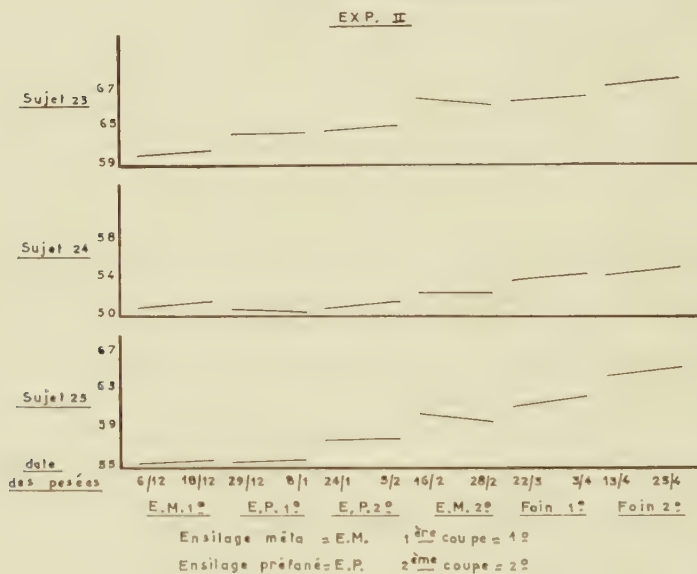
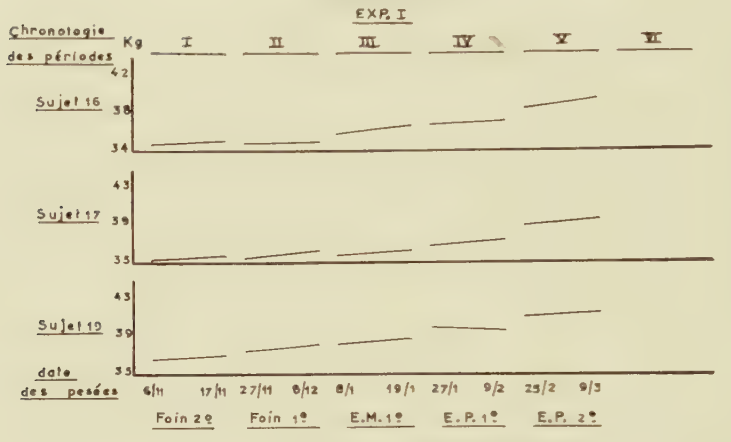


FIG. 1.

TABLEAU IV
COMPOSITION CHIMIQUE DES ALIMENTS AU MOMENT DE LEUR UTILISATION

	M.S.	EN % DE M.S.			u.f. / kg	RÉPARTITION D'N % N total				pH	A.G.V. (1)	A. lact. (1)
		M.O.	Cell. W.	N total		N non prot.	N NH ₃	Ns in vitro ^o				
<i>Expérience I (1961-62)</i>												
Aliment énergétique.	89,9	94,8	16,2	0,67	0,75			42,0				
1 ^{re} coupe												
Foin.	82,8	91,9	36,2	2,55	0,44							
Ensilage métabisulfite.	26,2	90,1	32,9	2,43	0,58	69,0	19,2		5,7	1,30	0,22	
Ensilage préfané.	29,1	91,8	30,2	2,55	0,62	70,1	22,2		5,9	1,71	0,11	
2 ^e coupe												
Foin.	85,7	91,5	37,4	2,81	0,40							
Ensilage préfané.	35,1	90,3	37,2	3,30	0,53		13,7		5,1	0,82	1,39	
<i>Expérience II (1962-63)</i>												
Aliment énergétique.	89,6	94,3	14,0	1,00	0,75			46,6				
1 ^{re} coupe												
Foin.	84,0	91,1	30,6	2,60	0,52	29,3	3,4	81,9				
Ensilage métabisulfite.	22,9	89,0	30,0	2,67	0,60	79,6	15,3	81,3	4,9	0,33	1,79	
Ensilage préfané.	30,9	89,8	31,4	2,79	0,60	72,7	19,6	84,0	5,5	0,61	1,82	
2 ^e coupe												
Foin.	84,7	91,3	37,9	2,65	0,38	28,4	8,9	76,1				
Ensilage métabisulfite.	25,3	90,2	33,9	2,50	0,57	70,6	23,3	79,5	5,6	1,77	0,14	
Ensilage préfané.	26,9	90,6	33,8	2,99	0,57	74,3	23,9	79,3	5,8	1,38	2,50	

M.S. = matière sèche, M.O. = matière organique, A.G.V. = acides gras volatils, A. lact. = acide lactique, Cell. W. = cellulose Weende, u.f. = unité fourragère.
o : N. solubilisé au milieu pepsine-HCl à pH initial 1,75.

M.S. — matière sèche, M.O. = matière organique, A.G.V. = acides gras volatils, A. lact. = acide lactique, Cell. W. = cellulose Weende, u.f. = unité fourragère.
o : N. solubilisé au milieu pepsine-HCl à pH initial 1,75.

TABLEAU V
DONNÉES INDIVIDUELLES DES INGESTA ET EXCRÉTA
(Moyenne journalière périodique)
Expérience I (1961-62)

INGESTA						EXCRETA					
M.S.	M.O.	N.T.	Cell. W. M.S.	M.A.T. M.S.	M.O. four- rage M.O.T.	N dig. f. % N dig. l.	M.S.	M.O.	N fécal	N urin.	N bilan global
(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
Sujet 16											
1 ^{re} coupe											
Foin.	823	14,9	27	11,3	56	91	354	325	6,8	5,6	2,5
Ensilage métabisulfite	1 010	930	25	10,6	60	92	382	326	7,1	7,4	2,6
Ensilage préfané	971	901	25	11,8	61	94	347	320	6,8	8,8	2,7
2 ^e coupe											
Foin.	881	16,1	28	11,4	55	92	346	315	6,3	7,5	2,3
Ensilage préfané	913	843	27	13,8	66	93	313	275	6,4	10,9	2,8
Sujet 17											
1 ^{re} coupe											
Foin.	895	15,3	27	10,7	57	91	407	368	7,0	7,3	1,0
Ensilage métabisulfite	992	913	26	11,0	59	92	388	357	7,2	8,1	2,2
Ensilage préfané	1 014	941	25	11,5	61	93	383	342	7,2	8,8	2,6
2 ^e coupe											
Foin.	899	16,4	28	11,4	55	92	338	311	6,3	8,5	1,6
Ensilage préfané	914	813	27	13,8	61	93	330	291	6,4	10,3	3,5
Sujet 19											
1 ^{re} coupe											
Foin.	897	15,4	27	10,7	57	91	405	362	7,1	5,9	2,4
Ensilage métabisulfite	961	881	27	11,1	57	92	393	319	7,1	7,9	2,0
Ensilage préfané	1 010	937	25	11,4	61	93	388	338	7,1	9,0	2,1
2 ^e coupe											
Foin.	899	16,5	28	11,4	55	92	371	331	6,5	8,6	1,4
Ensilage préfané	910	840	27	13,8	56	93	317	282	6,5	10,0	3,6

M.S. = matière sèche, M.O. = matière organique, Cell. W. = cellulose Weende.
N.T. = azote total, M.A.T. = matière azotée totale, N dig. f. = N digestible fourrage, N dig. l. = N digestible total.

M.S. = matière sèche, M.O. = matière organique, Cell. W. = cellulose Weende.
N.T. = azote total, M.A.T. = matière azotée totale, N dig. f. = N digestible fourrage, N dig. l. = N digestible total.

DONNÉES INDIVIDUELLES DES INGESTA ET EXCRÉTA (Moyennes journalières périodiques)
Expérience II (1962-63)

SUJETS ET TRAITEMENTS	INGESTA						EXCRÉTA					
	M.S.	M.O.	N.T.	Cell. W. % M.S.	M.A.T. % M.S.	M.O. Four- rage % M.O.T.	N dig. f. % N dig. t.	M.S.	M.O.	N fécal.	N urin.	N bilan global
	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)	(%)	(g)	(g)	(g)	(g)	(g)
<i>Sujet 23</i>												
1 ^{re} coupe												
Foin.	1 137	1 051	21,4	23	11,8	54	86	425	381	8,2	11,6	1,6
Ensilage métabisulfite	1 040	947	21,5	23	12,9	58	90	369	319	6,7	12,4	+ 2,4
Ensilage préfané	1 057	975	19,6	22	11,6	45	84	355	313	7,2	9,2	+ 3,2
2 ^e coupe												
Foin.	1 240	1 151	22,4	26	11,3	50	86	482	423	9,1	10,0	+ 3,3
Ensilage métabisulfite	1 207	1 109	22,8	25	11,8	58	88	483	423	8,2	10,6	+ 4,0
Ensilage préfané	1 146	1 058	23,5	23	12,8	52	87	452	399	8,6	12,7	+ 2,2
<i>Sujet 24</i>												
1 ^{re} coupe												
Foin.	966	885	17,7	23	11,5	51	86	337	300	6,1	11,0	+ 0,6
Ensilage métabisulfite	983	898	19,5	23	12,4	53	88	359	310	6,8	10,9	+ 1,8
Ensilage préfané	937	867	16,7	21	11,1	41	80	305	266	7,2	10,7	+ 1,2
2 ^e coupe												
Foin.	1 128	1 049	19,5	25	10,8	46	83	453	402	8,7	7,5	+ 3,3
Ensilage métabisulfite	1 095	1 007	20,0	25	11,4	53	86	413	364	7,4	10,6	+ 2,0
Ensilage préfané	1 032	955	19,9	23	12,1	46	84	401	353	7,8	8,9	+ 3,2
<i>Sujet 25</i>												
1 ^{re} coupe												
Foin.	1 092	1 011	20,3	23	11,6	52	86	370	329	7,2	9,9	+ 3,2
Ensilage métabisulfite	994	907	20,0	23	12,6	55	88	362	309	7,1	11,0	+ 1,9
Ensilage préfané	978	913	18,1	22	11,6	44	83	335	291	7,2	9,6	+ 1,3
2 ^e coupe												
Foin.	1 228	1 140	22,1	26	11,2	50	86	475	411	8,6	10,7	+ 2,9
Ensilage métabisulfite	1 169	1 075	21,8	25	11,7	56	87	470	412	7,8	12,9	+ 1,1
Ensilage préfané	1 085	1 003	21,7	24	12,5	49	86	420	372	7,8	11,8	+ 2,1

M.S. = matière sèche, M.O. = matière organique, N.T. = azote total.
Cell. W. = cellulose Weende, M.A.T. = matière azotée totale, N dig. f. = N digestible fourrage, N dig. t. = N digestible total.

M.S. = matière sèche, M.O. = matière organique, N.T. = azote total.

Cell. W. = cellulose Weende, M.A.T. = matière azotée totale, N dig. f. = N digestible fourrage, N dig. t. = N digestible total.

TABLEAU VII

COEFFICIENTS D'UTILISATION DIGESTIVE DES MATIÈRES SÈCHES ET ORGANIQUES DES RATONS

Expérience I (1961-62)

ANIMAUX	N° 16		N° 17		N° 19		MOYENNE	
	Mat. sèche	Mat. org.	Mat. sèche	Mat. org.	Mat. sèche	Mat. org.	Mat. sèche	Mat. org.
Période expérimentale								
1 ^{re} coupe								
Foin	56,9	59,3	54,6	55,9	54,8	56,7	55,4	57,3
Ensilage métabisulfite	62,2	65,0	60,9	60,9	59,1		60,7	62,1
Ensilage préfané	64,3	64,5	62,2	63,6	61,6	64,0	62,7	64,0
2 ^e coupe								
Foin	60,8	61,5	62,4	62,3	58,8	60,3	60,7	61,4
Ensilage préfané	65,7	67,3	63,9	65,1	65,2	66,5	64,9	66,3

Expérience II (1962-63)

ANIMAUX	N° 23		N° 24		N° 25		MOYENNE	
	Mat. sèche	Mat. org.	Mat. sèche	Mat. org.	Mat. sèche	Mat. org.	Mat. sèche	Mat. org.
Période expérimentale								
1 ^{re} coupe								
Foin	62,6	63,8	65,1	66,5	66,1	67,4	64,6	65,9
Ensilage métabisulfite	64,5	66,3	63,4	65,5	63,6	66,0	63,8	65,9
Ensilage préfané	66,4	67,9	67,1	69,3	65,8		66,5	68,4
2 ^e coupe								
Foin	61,1	63,3	59,8	61,7	61,3	64,0	60,7	63,0
Ensilage métabisulfite	60,0	61,9	62,3	63,2	59,8	61,7	60,7	62,3
Ensilage préfané	60,5	62,3	61,2	63,1	61,2	62,9	61,0	62,8

Bien que l'établissement des rations ait été basé uniquement sur les apports d'azote, nous donnons à titre indicatif, le pourcentage de matière organique en provenance du fourrage par rapport à la matière organique total. Ce pourcentage varie légèrement selon les refus laissés par les animaux; il est aux environs de 59 p. 100 dans l'expérience I et de 51 p. 100 dans l'expérience II.

Les coefficients de digestibilité de la matière sèche et de la matière organique calculés à partir des données des tableaux précédents sont portés dans le tableau VII pour les valeurs individuelles et moyennes.

Des résultats de l'expérience I, il ressort que quelle que soit la coupe, — et ceci est vrai pour tous les sujets expérimentaux — les rations à base d'ensilage (au métabisulfite de sodium ou préfané) présentent des coefficients d'utilisation digestive nettement supérieurs à celles avec foin.

La comparaison entre coupes que l'on peut faire à partir des mêmes données fait ressortir nettement la supériorité des fourrages de deuxième coupe.

En revanche, lors *de l'expérience II*, les variations sont moins nettes, les sujets présentent des comportements individuels différents. Les coefficients relatifs aux ensilages sont, selon les animaux, supérieurs ou inférieurs à ceux du foin.

La comparaison entre coupes fait apparaître qu'à l'opposé de l'expérience I, les fourrages de première coupe sont mieux utilisées que ceux de deuxième coupe.

C. — UTILISATION DIGESTIVE APPARENTE ET VRAIE DE L'AZOTE

Les tableaux V (expérience I) et VI (expérience II) consignent les bilans globaux individuels d'azote : ils sont légèrement positifs, ce qui indique que les besoins azotés des animaux sont satisfaits. Toutefois, le sujet 24 accuse un léger déficit pour l'ensilage préfané de première coupe; ce comportement différent peut s'expliquer par le fait que cet animal porteur de fistule paraissait mal supporter à ce

moment-là, la vie en cage. Malgré les précautions prises, la teneur des ingesta réels en matières azotées digestibles, diffère légèrement d'un animal à l'autre par suite de variations qualitatives et quantitatives des refus individuels (de 6,4 à 8,3 % dans l'expérience I, de 7,0 à 7,9 % dans l'expérience II).

a) *Utilisation digestive apparente de l'azote.* — Les coefficients individuels de digestibilité apparente sont rapportés dans les tableaux IX (expérience I) et X (expérience II); les moyennes correspondantes figurent au tableau XI.

Résultats individuels. — Dans son ensemble, l'utilisation digestive apparente est plus élevée pour les ensilages que pour le foin; cependant, au cours de l'expérience II, les valeurs enregistrées pour la première coupe chez les sujets 24 et 25 sont plus faibles pour l'ensilage préfané que pour l'ensilage au métabisulfite de sodium et le foin. Le comportement aberrant du sujet 24 a été signalé précédemment; pour le sujet 25, aucune observation en cours d'expérience ne permet d'expliquer ce fait.

Résultats moyens. — Dans l'expérience I, le coefficient moyen de digestibilité du foin est de 4 points inférieur à celui de l'ensilage au métabisulfite de sodium et de 7 points à celui de l'ensilage préfané pour la première coupe. Un écart du même ordre est enregistré entre le foin et l'ensilage préfané de la seconde coupe.

Pendant l'expérience II, le coefficient du foin est inférieur de 2 points à celui de l'ensilage au métabisulfite de sodium et dépasse de 4 points celui de l'ensilage préfané en première coupe. En seconde coupe, le foin accuse 4 à 5 points de moins que les ensilages.

Quant aux différences entre coupes, elles apparaissent très nettement en faveur de la deuxième coupe quelle que soit le traitement de conservation dans l'expérience I; par contre, pour l'expérience II, elles sont en faveur de la première coupe dans le cas du foin et de l'ensilage au métabisulfite de sodium et en sa défaveur dans le cas de la conservation par préfanage.

b) *Utilisation digestive vraie de l'azote.* — Comme il a été dit, la fraction d'azote fécal d'origine métabolique est évaluée à 0,40 g N

TABLEAU VIII

AZOTE DIGÉRÉ, COEFFICIENTS INDIVIDUELS D'UTILISATION DIGESTIVE ET DE RÉTENTION ET VALEUR BIOLOGIQUE
PAR PÉRIODE

Expérience I (1961-62)

SUIJETS ET TRAITEMENTS	Nda (*)	Ndv (*) (1)	Ndv par kg P. V.	C.U.D.		$\frac{\text{Nda}-\text{Nu}}{\text{Nda}}$ (*)	$\frac{\text{Ndv}-\text{Nu}}{\text{Ndv}}$ (*)	VALEUR BIOLO- GIQUE (1)
				app.	vraie (1)			
N° 16								
1 ^{re} coupe								
Foin	8,1	11,4	0,32	54,5	76,6	30,8	50,9	61
Ensilage métabisulfite	10,0	14,0	0,39	58,5	81,9	26,0	47,1	56
Ensilage préfané.	11,5	15,3	0,41	62,7	83,6	23,5	42,5	51
2 ^e coupe								
Foin	9,8	13,4	0,39	61,0	83,2	23,5	44,0	53
Ensilage préfané.	13,7	17,4	0,45	68,2	86,6	20,4	37,3	45
N° 17								
1 ^{re} coupe								
Foin	8,3	11,9	0,33	54,3	77,8	12,0	38,7	49
Ensilage métabisulfite	10,3	14,2	0,40	58,9	81,1	21,4	43,0	51
Ensilage préfané.	11,4	15,5	0,42	61,3	83,3	22,8	43,2	52
2 ^e coupe								
Foin	10,1	13,8	0,39	61,6	84,1	15,8	38,4	47
Ensilage préfané.	13,8	17,1	0,44	68,3	84,6	25,4	39,8	47
N° 19								
1 ^{re} coupe								
Foin	8,3	11,9	0,33	53,8	77,3	28,9	50,4	61
Ensilage métabisulfite	9,9	13,7	0,37	57,1	79,2	20,2	42,3	51
Ensilage préfané.	11,4	15,4	0,41	61,4	83,2	21,1	41,6	50
2 ^e coupe								
Foin	10,0	13,6	0,39	60,6	82,4	14,0	36,8	46
Ensilage préfané.	13,6	16,8	0,43	67,7	83,6	26,5	40,5	48

(*) Nda = N digéré apparent, Ndv = N digéré vrai, Nu = N urinaire.
(1) N métabolique fécal égale à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(*) Nda = N digéré apparent, Ndv = N digéré vrai, Nu = N urinaire.

(1) N métabolique fécal égale à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

TABLEAU IX

AZOTE DIGÉRÉ. COEFFICIENTS INDIVIDUELS D'UTILISATION DIGESTIVE ET DE RÉTENTION ET VALEUR BIOLOGIQUE
PAR PÉRIODE
Expérience II (1962-63)

	Nda (*)	Ndv (*)		Ndv(*) par kg P.V.	C.U.D.		$\frac{\text{Nda}-\text{Nu}(*)}{\text{Nda}}$	$\frac{\text{Ndv}-\text{Nu}(*)}{\text{Ndv}}$		VALEUR BIOLOGIQUE		
					app.	vraie		(1)	(2)		(1)	(2)
		(1)	(2)									
N° 23												
1 ^{re} coupe												
Foin.	13,2	17,7	17,3	0,27	0,27	61,7	82,7	12,1	34,5	32,9	47	46
Ensilage métabisulfite	14,6	19,0	17,6	0,32	0,30	67,9	88,4	16,4	34,7	29,5	46	41
Ensilage préfané.	12,4	16,6	15,2	0,27	0,25	63,3	84,7	25,8	41,6	39,5	58	54
2 ^e coupe												
Foin.	13,3	18,3	18,1	0,27	0,27	59,4	81,7	24,8	45,4	44,8	58	57
Ensilage métabisulfite	14,6	19,5	17,7	0,29	0,27	64,0	85,5	27,4	45,6	40,1	57	53
Ensilage préfané.	14,9	19,5	18,6	0,31	0,29	63,4	83,0	14,8	34,9	31,7	46	44
N° 34												
1 ^{re} coupe												
Foin.	11,6	15,5	14,3	0,30	0,27	65,5	87,6	5,2	29,0	23,1	41	36
Ensilage métabisulfite	12,7	16,6	15,8	0,32	0,31	65,1	85,1	11,2	31,3	31,0	45	42
Ensilage préfané.	9,5	13,3	13,0	0,26	0,26	56,9	77,8	0,0	19,5	17,7	33	32
2 ^e coupe												
Foin.	10,8	15,2	15,1	0,28	0,28	55,4	77,9	30,6	50,7	51,3	63	61
Ensilage métabisulfite	12,6	16,9	15,4	0,32	0,29	63,0	84,5	15,9	37,3	31,2	48	43
Ensilage préfané.	12,1	16,3	15,7	0,32	0,31	60,8	81,9	26,1	45,1	43,3	56	55
N° 25												
1 ^{re} coupe												
Foin.	13,1	17,4	16,2	0,27	0,26	64,5	85,7	24,1	43,1	38,9	56	52
Ensilage métabisulfite	12,9	16,9	15,9	0,30	0,29	64,5	84,5	14,7	34,9	30,8	46	43
Ensilage préfané.	10,9	14,9	14,0	0,27	0,26	60,2	82,3	11,9	35,6	31,1	48	45
2 ^e coupe												
Foin.	13,5	18,1	17,5	0,28	0,27	61,1	83,3	21,5	41,8	38,9	54	51
Ensilage métabisulfite	14,0	18,7	17,6	0,31	0,29	64,2	85,8	7,9	31,0	26,7	42	39
Ensilage préfané.	13,9	18,2	16,9	0,31	0,29	64,1	83,9	15,1	35,2	30,2	46	42

(*) Nda = N digéré apparent, Ndv = N digéré vrai, Nu = urinaire.
(1) Azote métabolique fécal égale à 0,40 gr par 100 grammes de matière sèche ingérée.
(2) Azote métabolique fécal déterminé par pepsine-HCl-trypsine-méthode.

(*) Nda = N digéré apparent, Ndv = N digéré vrai, Nu = urinaire.

(1) Azote métabolique fécal égale à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(2) Azote métabolique fécal déterminé par pepsine-HCl-trypsine-méthode.

TABEAU X

COEFFICIENTS D'EFFICACITÉ AZOTÉE
(Moyenne de 3 moutons)

TRAITEMENTS	C. U. D.				$\frac{\text{Nda}-\text{Nu}}{\text{Nda}}$ (%)	$\frac{\text{Ndv}-\text{Nu}}{\text{Ndv}}$ (1) (2) (%) (%)		VALEUR BIOLOGIQUE		
	app. (%)	vraie		(1) (%)		(2) (%)	(1)	(2)		
		(1) (%)	(2) (%)							
<i>Expérience I (1961-62)</i>										
1 ^{re} coupe										
Foin	54,2	77,2			23,9	46,7		57		
Ensilage métabisulfite	58,2	80,7			22,5	44,1		53		
Ensilage préfané.	61,8	83,4			21,6	42,4		51		
2 ^e coupe										
Foin	61,1	83,2			17,8	39,7		49		
Ensilage préfané.	68,0	84,9			24,1	39,2		47		
<i>Expérience II (1962-63)</i>										
1 ^{re} coupe										
Foin	63,9	85,3	80,5		13,9	35,5	31,6	48	45	
Ensilage métabisulfite	65,8	86,0	80,8		15,1	34,6	30,4	46	42	
Ensilage préfané.	60,1	82,2	77,6		12,6	33,1	29,5	46	44	
2 ^e coupe										
Foin	58,6	81,0	79,7		25,6	46,0	45,0	58	57	
Ensilage métabisulfite	63,7	85,3	78,4		17,1	38,0	32,7	49	45	
Ensilage préfané.	62,8	82,9	78,6		18,8	38,7	35,1	49	47	

(1) Azote métabolique fécal égale à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(2) Azote métabolique fécal déterminé par la méthode de pepsine-HCl-trypsine.

(1) Azote métabolique fécal égale à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(2) Azote métabolique fécal déterminé par la méthode de pepsine-HCl-trypsine.

par 100 g de matières sèches ingérées. Pour l'expérience II, nous utilisons comparativement à cette donnée, les résultats individuels obtenus par la technique enzymatique *in vitro* à la pepsine-HCl et la trypsine décrite précédemment (p. 46). ↵

1° *Estimation in vitro de l'azote métabolique fécal*

Les résultats sont rapportés dans le tableau XI; ils indiquent clairement l'existence de variations notables des pertes d'azote métabolique fécal entre sujets; il semble donc, comme l'ont signalé ZELTER et collaborateurs (141) chez le porc, que l'estimation correcte de cette perte nécessite une détermination individuelle. D'autre part, d'après ces mêmes données, la ration avec fourrage agirait sur le taux d'azote métabolique fécal; nos animaux excrètent en moyenne 0,34 g d'N métabolique par 100 g de matières sèches ingérées avec le régime foin et 0,29 et 0,31 g respectivement pour les régimes d'ensilages au métabisulfite et préfané. Il existe une corrélation négative ($r = -0,87 \pm 0,056$) et significative ($P < 0,05$) entre la quantité d'azote métabolique fécal excrété par unité de matière sèche consommée et la digestibilité apparente de l'azote ingéré comme le montre la figure 2. La teneur en cellulose brute étant pratiquement similaire dans tous les régimes, on peut donc supposer que la structure physico-chimique de l'aliment (état sec-foin, état vert-ensilage, concentration en constituants membranaires incrustés variable avec les conditions climatiques, l'âge et le cycle végétatif de la plante au moment de la coupe) serait un des facteurs susceptibles d'influencer la dépense métabolique fécale en modifiant l'intensité de l'usure mécanique de l'épithélium du tube digestif.

2° *Coefficient d'utilisation digestive vraie*

Les coefficients d'utilisation digestive vraie tant individuels (tabl. VIII-IX) que moyens (tabl. X) confirment l'impression qui se dégage des valeurs de digestibilité apparente, à savoir qu'à l'exception de l'ensilage préfané de première coupe en seconde expérience,

TABLEAU XI

AZOTE FÉCAL SOLUBILISÉ EN MILIEU PEPSINE-HCL (pH = 1,75)
PUIS TRYPSINE (pH = 7,5) G P. 100 DE MATIÈRE SÈCHE INGÉRÉE

Expérience II (1962-63)

TRAITEMENT Sujet	23	24	25
1 ^{re} coupe			
Foin	0,37	0,28	0,29
Ensilage métabisulfite	0,27	0,32	0,30
Ensilage préfané	0,27	0,37	0,32
2 ^e coupe			
Foin	0,38	0,41	0,32
Ensilage métabisulfite	0,32	0,34	0,28
Ensilage préfané	0,32	0,34	0,28

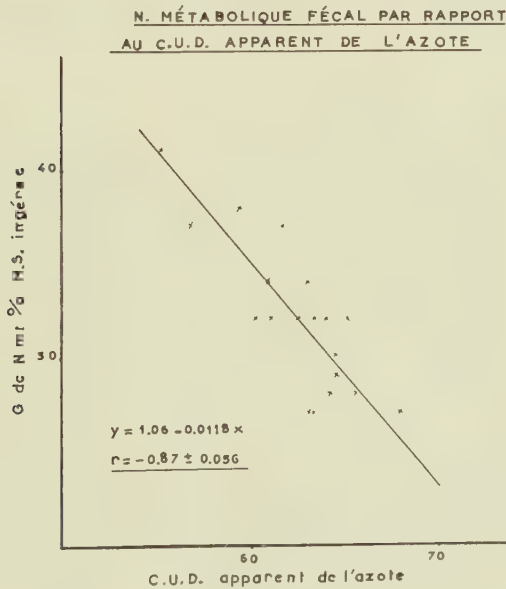


FIG. 2.

l'azote des foin est moins bien utilisé dans le tractus digestif que celui des ensilage (1 à 6 points suivant l'expérience et la coupe) lorsque la correction est basée sur la valeur moyenne de 0,40.

En revanche, si nous appliquons les valeurs individuelles des dépenses métaboliques fécales déterminées *in vitro*, l'azote du foin des deux coupes a une digestibilité vraie égale ou légèrement plus élevée que celui des ensilages; 80,5 contre 80,8 et 77,6 en première coupe et 79,7 contre 78,4 et 78,6 en deuxième coupe.

L'action du facteur coupe est dans la première expérience en faveur de la seconde coupe; dans l'expérience II, les valeurs calculées avec la moyenne métabolique de 0,40 font ressortir que la seconde coupe est inférieure ou égale à la première alors que les valeurs *in vitro* aboutissent à des coefficients très proches les uns des autres.

D. — Utilisation métabolique de l'azote

Les données individuelles figurent dans les tableaux VIII (expérience I) et IX (expérience II) et les moyennes des groupes dans le tableau X.

a) Coefficients de rétention :

Résultats individuels. — Les valeurs individuelles de rétention sont dans l'ensemble disparates sauf pour les ensilages de l'expérience I dont les résultats sont beaucoup mieux groupés. Pour le foin, les valeurs extrêmes sont de 12,0-30,8 (expérience I) et de 5,2-30,6 (expérience II) alors que pour les ensilages, elles sont de 20,2-26,5 (expérience I) et de 0,0-27,4 (expérience II).

Les coefficients de « rétention vraie » sont compris dans les limites extrêmes suivantes :

Expérience I. — Foin : 36,8 à 50,9 (correction 0,40); ensilage : 37,3 à 47,1 (correction 0,40).

Expérience II. — Foin : 29,0 à 50,9 (correction 0,40) et 23,1 à 51,3 (correction, valeurs individuelles *in vitro*); ensilage : 19,5 à 45,6 (correction 0,40) et 17,7 à 43,3 (correction, valeurs individuelles *in vitro*).

ÉVOLUTION DU TAUX DE N_2NH_3 DANS LE RUMEN EN FONCTION
DU TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA DISTRIBUTION DU REPAS
DU MATIN

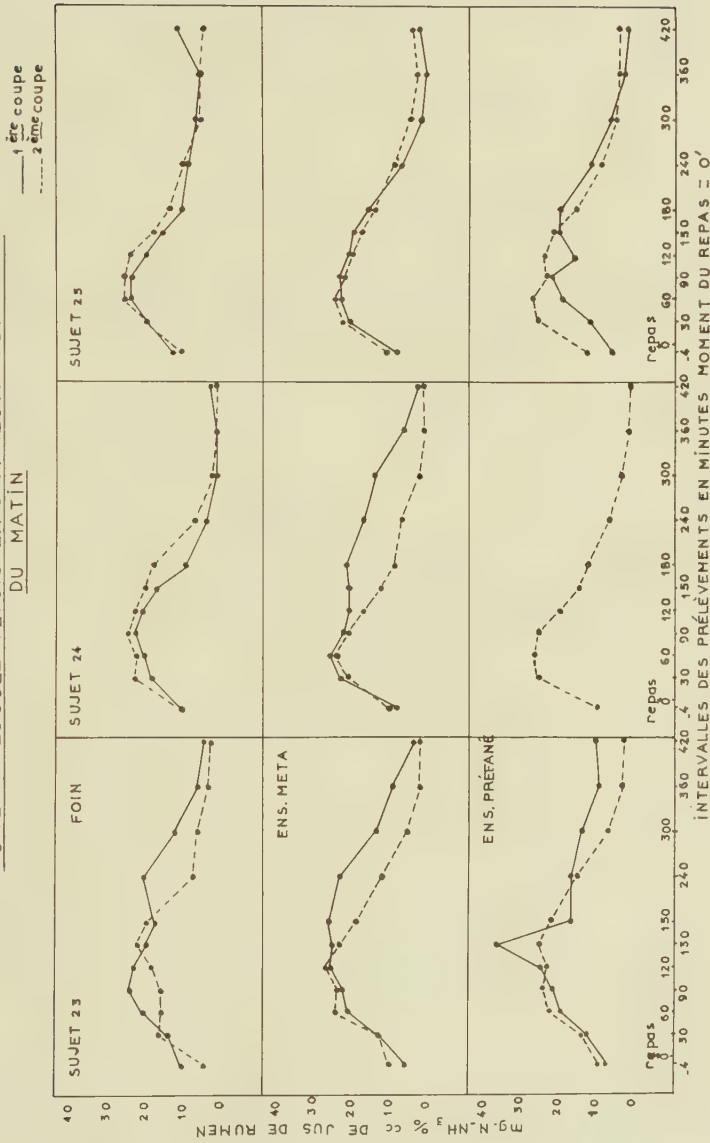


FIG. 3.

Signalons que toutes les valeurs minima de l'expérience II sont celles observées sur le mouton 24 et peuvent être considérées comme aberrantes vu le comportement anormal du sujet. Mais étant donné le nombre limité des résultats, nous préférons ne pas les éliminer du calcul moyen.

TABLEAU XII

ÉVALUATION DE L'AMMONIOGÉNÈSE PAR PLANIMÉTRIE EN CENTIMÈTRES CARRÉS

Expérience II

MOUTON	N° 23	N° 24	N° 25
1^{re} coupe			
Foin	174,3	120,8	140,3
Ensilage métabisulfite	198,5	180,0	125,4
Ensilage préfané	185,7	*	130,5
2^e coupe			
Foin	139,7	133,3	143,9
Ensilage métabisulfite	160,0	114,5	136,8
Ensilage préfané	170,0	128,6	149,5

(*) La cinétique de l'ammoniogénèse n'a pas pu être établi.

Moyenne foin : $\times = 143,2 \pm 4,1$

Moyenne ensilages : $\times = 152,6 \pm 7,4$

Résultats moyens. — Les valeurs moyennes des groupes (sujet 24 inclus) font ressortir que les foin accusent des coefficients de rétention au moins égaux ou supérieurs aux ensilages, seul, celui de la seconde coupe de l'expérience I, a une valeur très inférieure (17,8 contre 24,1); en revanche, les « rétentions vraies » sont dans tous les cas, plus élevées pour l'azote du foin que pour celui des ensilages.

Entre ensilages conservés au métabisulfite de sodium ou par préfanage, il n'apparaît aucune différence.

L'influence de la coupe est essentiellement variable d'une expérience à l'autre.

b) *Valeur biologique.* — Les valeurs biologiques effectuées à titre strictement indicatif (cf. pp. 32, 33) s'accordent parfaitement avec celles de « rétention vraie » (tabl. VIII, IX, X); elles montrent que l'azote des foin est, dans la quasi totalité des cas, plus efficacement utilisé que celui des ensilages.

ÉVOLUTION DU TAUX DE $N-NH_3$ DANS LE RUMEN EN FONCTION
DU TEMPS ÉCOULÉ DEPUIS LA DISTRIBUTION DU REPAS DU MATIN
(MOYENNE DE 3 SUJETS.)

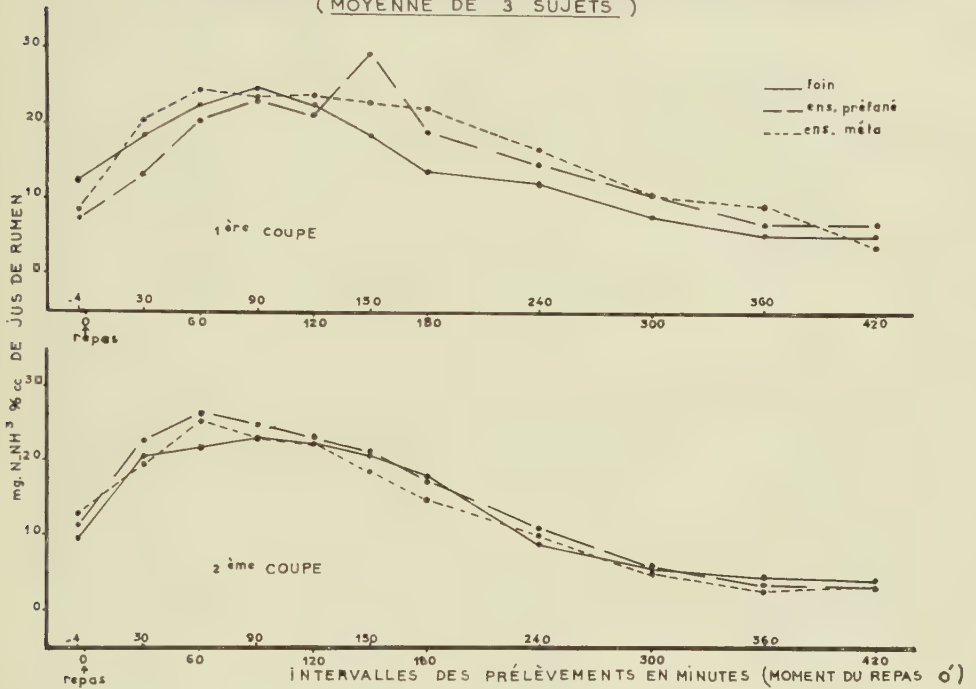


FIG. 4.

*
* *

c) *Cinétique de l'ammoniogénèse.* — L'évolution des concentrations en azote ammoniacal qui reflète l'intensité de l'ammoniogénèse (expérience II) entre le moment qui précède la distribution du repas et la quatre cents vingtième minute qui le suit est exprimé en milligramme de $N-NH_3$ par 100 ml de liquide de rumen passé à travers 6 épaisseurs de mousseline et est rapportée graphiquement dans les figures 3 (résultats individuels) et 4 (résultats moyens). Pour faciliter la comparaison entre les ammoniogénèses inhérentes à chaque type de fourrage, nous mesurons par planimétrie

TABLEAU XIII
CONSTITUANTS AZOTÉS DE L'URINE
Expérience II (1962-63)

Sujets et traitement	N total	N urée	N- NH ₃	En % de N total		
				N urée	N- NH ₃	N urée + N- NH ₃
	(g)	(g)	(g)	(%)	(%)	(%)
N° 23						
1 ^{re} coupe						
Foin	11,6	9,0	0,24	77,6	2,1	79,8
Ensilage métabisulfite	12,4	8,2	0,40	66,4	3,2	69,6
Ensilage préfané	9,2	5,0	0,15	54,1	1,6	55,7
2 ^e coupe						
Foin	10,0	7,0	0,81	70,0	8,1	78,1
Ensilage métabisulfite	10,6	7,6	0,63	71,9	5,9	77,8
Ensilage préfané	12,7	9,4	0,28	73,7	2,2	75,9
N° 24						
1 ^{re} coupe						
Foin	11,0	8,3	0,32	75,8	2,9	78,7
Ensilage métabisulfite	10,9	6,6	0,84	60,6	7,7	68,3
Ensilage préfané	10,7	7,2	0,17	67,6	1,6	69,2
2 ^e coupe						
Foin	7,5	4,5	0,97	60,0	12,9	72,9
Ensilage métabisulfite	10,6	7,7	0,30	72,8	2,8	75,6
Ensilage préfané	8,9	5,3	0,51	59,7	5,7	65,4
N° 25						
1 ^{re} coupe						
Foin	9,9	7,1	0,23	71,5	2,3	73,8
Ensilage métabisulfite	11,0	7,1	0,21	67,3	1,9	69,2
Ensilage préfané	9,6	6,5	0,25	67,3	2,6	69,9
2 ^e coupe						
Foin	10,7	7,8	0,58	73,3	5,4	78,7
Ensilage métabisulfite	12,9	9,6	0,15	74,8	1,2	76,0
Ensilage préfané	11,8	8,8	0,12	74,5	1,0	75,5

les surfaces correspondantes délimitées par la courbe, l'abscisse et les ordonnées aux temps 0 et 420 minutes. Les surfaces figurent dans le tableau XII.

d) *Constituants de l'azote urinaire.* — Les quantités totales d'azote urinaire, uréique et ammoniacal et la répartition de ces derniers constituants dans l'azote total sont consignées dans le tableau XIII.

TROISIÈME PARTIE

DISCUSSIONS GÉNÉRALES
ET CONCLUSIONS

Chapitre Unique

COMMENTAIRES DES EXPÉRIENCES ET DISCUSSION GÉNÉRALE

A. — PRÉLIMINAIRES CONCERNANT LES CONDITIONS EXPÉRIMENTALES

Il y a lieu de voir d'abord si la méthodologie utilisée ne risque pas de nous conduire à des résultats expérimentaux erronés.

Dans notre introduction, nous avons dit que l'agneau en croissance aurait été un réactif animal plus sensible que le mouton adulte pour une étude de l'efficacité azotée d'un fourrage, mais que nous étions conduits à utiliser le second car la consommation de fourrage ensilé est contre-indiquée pour ce jeune animal. Le choix de l'animal adulte présente toutefois l'avantage d'évaluer l'efficacité azotée pour le seul phénomène de l'entretien, alors que les études effectuées sur des jeunes ne permettent pas de séparer la part d'azote alimentaire utilisée pour la croissance et celle utilisée pour l'entretien car elles mesurent la somme de ces deux phénomènes.

Dans le cadre de nos expériences, nous pouvons admettre que l'azote résorbé par nos sujets pendant toutes les périodes de mesure a servi uniquement aux besoins de l'entretien. L'évolution du poids vif au cours de toute la durée des expériences I et II montre effectivement un gain de poids très faible (40 g par jour au maximum) qui, en raison de l'âge des animaux, correspond vraisemblablement à une constitution de réserves lipidiques plutôt qu'à une formation de protéines tissulaires. Ceci s'accorde d'ailleurs avec les bilans d'azote qui sont très légèrement positifs et qui ne se relient pas au gain de poids corporel.

Toutefois, il est possible qu'une partie de l'azote alimentaire ait été utilisée pour la pousse de la laine, fait signalé par MITCHELL (93). Mais même s'il en était ainsi, cette fraction extrêmement faible

n'influencerait guère les valeurs comparées d'efficacité azotée de nos fourrages car il est raisonnable d'admettre que l'intensité de la croissance lainière a été du même ordre au cours de chacune de nos périodes de bilans.

L'intervention de l'aliment énergétique complémentaire est également à exclure car son apport d'azote représente au plus 15 p. 100 de l'azote total ingéré au cours de l'expérience I et 25 p. 100 au cours de l'expérience II. Or, la quasi-totalité de cet azote provient du marc de pomme dont la digestibilité est très faible (p. 37); il s'en suit que 92 p. 100 (expérience I) et 96 p. 100 (expérience II) de l'azote digestible sont fournis par les fourrages étudiés. Ceci permet donc de considérer que les différences observées dans les utilisations d'azote de nos régimes sont attribuables aux seules matières azotées des fourrages.

Une réserve cependant s'impose : l'aliment en question contient 37 p. 100 de glucides purs (amidon et sucre de maïs); or, nous avons déjà dit qu'en présence de ces corps, l'utilisation des formes azotées solubles et plus spécialement d'ammoniaque aux fins de protéinogénèse bactérienne dans le rumen est favorisée. Il se pourrait donc que ce facteur ait pu partiellement améliorer l'efficacité de l'azote d'ensilage et atténuer de la sorte les différences entre traitements expérimentaux en procurant pour l'ensilage des valeurs par excès.

Par ailleurs, il est improbable que nos moutons aient utilisé à des fins énergétiques l'azote alimentaire qui représente environ 14 p. 100 des calories nettes. En effet, si l'ingestion d'énergie avait été insuffisante, ils n'accuseraient pas simultanément un bilan d'azote positif et un léger engraissement. En outre, nos sujets utilisent par gramme d'azote digestible dont ils disposent 137 ± 2 calories nettes pendant l'expérience I et 144 ± 2 pendant l'expérience II. Ces valeurs sont proches des normes de LEROY (66) qui, pour maintenir un rapport correct entre calories et protéines, recommande 140 calories par gramme d'azote digestible.

Des facteurs matériellement incontrôlables — conditions météorologiques qui ont influencé la pousse de la plante et celles qui existaient au moment de la coupe — ne sont pas identiques pour les 2 coupes et pour les 2 années d'expérience. Ce fait rend la comparaison entre coupe et entre année peu rigoureuse.

En outre, la difficulté de trouver chez les ovins des sujets génétiquement identiques fait que le facteur individuel également incontrôlable peut être une source de variabilité des résultats.

Quoi qu'il en soit, l'étude des variances (*) par le test de FISHER (122) (tabl. XV, XVI, XVII) concernant la répartition des influences exercées par les divers facteurs qui pourraient jouer dans nos conditions expérimentales sur l'utilisation digestive et métabolique de l'azote des régimes permet de discriminer la part qui revient à chacun d'eux. La signification des différences dégagées par l'analyse des variances a été de plus éprouvée par le test de TUKEY (129) plus sévère que celui de FISHER. Par suite du nombre restreint des données et des multiples facteurs pouvant influencer nos résultats, cette analyse de variance est effectuée à partir des coefficients individuels calculés par sous-période de 5 jours et non pas par période entière de 10 jours.

Dans certains cas, nous recourons également au test « t » de STUDENT afin d'apprécier la signification des différences existantes entre résultats moyens périodiques.

Nous allons maintenant discuter successivement nos résultats recueillis sur l'utilisation digestive et sur l'utilisation métabolique de nos fourrages et tenter une explication des phénomènes observés.

B. — DISCUSSIONS DES RÉSULTATS

a) *Utilisation digestive apparente et vraie de l'azote.* — Le niveau azoté ne pouvait pas intervenir car ceux de nos régimes sont très voisins les uns des autres (tabl. IV et V).

1^o *Influence des traitements*

L'analyse des variances (tabl. XIV, XV, XVI) montre des différences hautement significatives aussi bien pour la digestibilité apparente que pour la digestibilité vraie de l'azote en faveur des ensilages dans les 2 essais et ce, quelle que soit la coupe.

(*) Nous remercions bien vivement M. VISSAC, chargé de Recherche à la Station de Génétique animale de l'I.N.R.A. pour les conseils précieux qu'il a bien voulu nous donner.

TABLEAU XIV

RÉPARTITION DES INFLUENCES DES DIVERS FACTEURS ÉTUDIÉS PAR ANALYSE DES VARIANCES. TEST F

Expérience I (1961-62) : foin, ensilages métabisulite et préfané, de 1^{re} coupe

ORIGINE DE VARIANCE	D.L.	C.U.D.		$\frac{\text{Nda-Nu}}{\text{Nda}}$	$\frac{\text{NdV-Nu}}{\text{NdV}}$ (*)	VALEUR BIOLO- GIQUE (*)
		apparente	vraie (*)			
Total	17					
Traitement (T)	2	38,86 (***)	22,05 (***)	0,89	2,42	2,41
Animal (A)	2	1,33	1,38	0,25	3,21	1,85
Sous-période (P)	1	3,53	0,00	3,16	2,24	5,36
Interaction :						
(T) × (A)	4	1,65	1,08	2,16	8,28 (**)	6,15
(T) × (P)	2	1,15	1,61	1,35	5,28	4,10
(A) × (P)	2	0,03	0,22	1,04	8,35 (**)	4,36
Résiduelle	4					
(Moyenne de carrés)		(0,78)	(1,56)	(24,77)	(2,64)	(2,72)

(*) Azote métabolique fécal égale à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(**) Significatif au seuil de $P_{0.01}$.(***) Significatif au seuil de $P_{0.001}$.

TABLEAU XV
RÉPARTITION DES INFLUENCES DES DIVERS FACTEURS ÉTUDIÉE PAR ANALYSE DES VARIANCES. TEST F
Expérience I (1961-62) : foin et ensilage préfané des 2 coupes

ORIGINE DE VARIANCE	D.L.	C.U.D.		$\frac{\text{Nda}-\text{Nu}}{\text{Nda}}$	$\frac{\text{Ndv}-\text{Nu}}{\text{Ndv}}$	VALEUR BIOLO- GIQUE (*)
		apparente	vraie (**)			
Total	23					
Coupe (C)	1	267,70 (***)	47,89 (***)	0,19	1,38	3,63
Traitement (T)	1	263,25 (***)	65,45 (***)	2,64	0,23	0,98
Animal (A)	2	2,28	0,80	0,11	0,12	0,34
Sous-période (P)	1	7,28 (**)	1,25	6,65 (**)	6,44 (**)	6,92 (**)
Interaction :						
(C) × (T)	1	0,14	15,37 (***)	0,29	0,25	0,26
(C) × (A)	2	0,16	0,96	0,46	0,23	0,25
(C) × (P)	1	3,98	0,81	0,00	0,04	0,02
(T) × (A)	2	3,63	3,44	0,63	0,79	0,65
(T) × (P)	1	1,42	0,27	0,72	0,08	0,00
(A) × (P)	2	0,95	0,25	0,10	0,18	0,20
Résiduelle	9	(0,43)	(0,93)	(37,20)	(11,61)	(11,03)
(Moyenne de carrés)						

(*) Azote métabolique fécal égal à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.
 (**) Significatif au seuil de $P_{0.01}$.
 (***) Significatif au seuil de $P_{0.05}$.

TABLEAU XVI

RÉPARTITION DES INFLUENCES DES DIVERS FACTEURS ÉTUDIÉS PAR ANALYSE DES VARIANCES. TEST F

Expérience II (1962-63)

ORIGINE DE VARIANCE	D.L.	C.U.D.				$\frac{Nda-Nu}{Nda}$	$\frac{Ndv-Nu}{Ndv}$		VALEUR BIOLOGIQUE		
		app.	Vraie		(1)		(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
			(1)	(2)							
Total	35	4,33	1,94	0,43	7,14 (*)	6,18 (*)	5,34 (*)	5,22 (*)	5,21 (*)		
Coupe (C)	1	10,97 (**)	6,57 (**)	1,72	0,26	1,40	2,67	2,13	2,75		
Traitement (T)	2	4,66 (*)	1,58	0,37	2,07	1,06	1,14	1,26	1,15		
Animal (A)	2	1,01	0,86	1,00	0,69	0,00	0,00	0,00	0,00		
Sous période (P)	1										
Interaction :											
(C) × (T)	2	7,86 (**)	2,21	0,76	1,12	0,14	1,14	0,59	1,06		
(C) × (A)	2	1,00	0,57	0,05	6,96 (**)	4,77 (*)	4,92 (*)	5,00 (*)	4,76 (*)		
(C) × (P)	1	1,83	1,91	2,11	0,17	0,11	0,11	0,02	0,09		
(T) × (A)	4	1,36	1,47	0,40	0,63	0,43	0,12	0,37	0,08		
(T) × (P)	2	1,37	1,09	1,02	1,30	1,19	1,05	0,95	0,99		
(A) × (P)	2	1,01	0,98	0,77	0,28	0,05	0,01	0,01	0,01		
Résiduelle	16										
(Moyenne de carrés)		(1,61)	(3,21)	(2,83)	(55,40)	(25,35)	(24,02)	(20,63)	(24,21)		

(1) Calculés sur la base de 0,40 g d'azote métabolique fécal par 100 grammes de matière sèche ingérée.
(2) *Ibidem*, l'azote métabolique fécal déterminé *in vitro*.
(*) Significatif au seuil de P0,01.
(**) Significatif au seuil de P0,05.

(1) Calculés sur la base de 0,40 g d'azote métabolique fécal par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(2) *Ibidem*, l'azote métabolique fécal déterminé *in vitro*.

(*) Significatif au seuil de P0,01.

(**) Significatif au seuil de P0,05.

Dans l'expérience II, cependant, si, au lieu d'appliquer comme correction pour la perte métabolique fécale, la donnée moyenne *in vivo* de 0,40, nous utilisons les valeurs individuelles *in vitro*, l'utilisation digestive vraie de l'azote du foin devient pratiquement égale à celle des ensilages. Mais la technique d'évaluation *in vitro* adoptée est conventionnelle donc critiquable, de sorte que les conclusions qu'on peut tirer à partir de ce mode de calcul appellent de nombreuses réserves.

La comparaison des résultats par le test de TUKEY, montre que l'écart entre ensilage préfané et foin est toujours hautement significatif et en faveur du premier, alors que celui entre ensilage au métabisulfite et foin perd sa signification.

On pourrait expliquer la disparité entre les 2 modes d'ensilage par le fait suivant : au cours de la conservation, les processus protéolytiques en présence d'un bactériostatique tel que le métabisulfite de sodium n'aboutissent pas aux mêmes répartitions des formes azotées dégradées qu'après traitement par préfanage; cela est plus spécialement vrai pour la teneur en azote aminé libre, bien que les concentrations globales en azote non protéique soient sensiblement du même ordre dans les deux cas (143).

Une utilisation digestive de l'azote des ensilages plus élevée que celle de foin est également signalée par MARTIN et collaborateurs (81). Ce phénomène devient compréhensible lors qu'on considère les teneurs comparées de ces deux types de fourrage en azote non protéique : ce dernier représente 29 p. 100 de l'azote total dans notre foin contre 72 p. 100 dans nos ensilages (tabl. III). Or, on sait maintenant que l'azote non protéique est en grande partie résorbé dans le tractus digestif et n'apparaît pas au niveau du bilan fécal.

2° Comparaison entre coupes

Notre dispositif expérimental a été prévu pour une étude concernant la répercussion du traitement de conservation et non de celle de la coupe sur l'efficacité azotée du fourrage. Nous ne commenterons donc qu'incidemment les quelques faits que nous avons pu recueillir relativement à ce dernier facteur.

D'après nos observations, les coefficients d'utilisation digestive apparente des matières azotées des fourrages de première coupe sont inférieurs pour tous les traitements dans les deux expériences à ceux de seconde coupe. Mais les écarts sont hautement significatifs dans la première expérience et non significatifs dans la seconde.

Les coefficients d'utilisation digestive vraie (correction 0,40) sont, dans la première expérience, très significativement plus élevés pour les fourrages de deuxième coupe. Dans l'expérience II, aucun écart n'est significatif mais en valeur absolue, le foin de la seconde coupe est inférieur à celui de la première et les ensilages des 2 coupes possèdent des coefficients d'utilisation digestive vraie équivalents.

Certains auteurs (29, 133, 55) signalent que l'utilisation digestive de l'azote des luzernes de deuxième coupe est meilleure que celle de première coupe, ce qui est en bon accord avec les résultats de notre essai I, et en contradiction avec l'essai II. Nous ne pouvons donc ni confirmer ni infirmer cette opinion. On sait, en effet, que chez le ruminant, l'accessibilité du contenu cytoplasmique des cellules végétales à l'attaque microbienne et aux enzymes digestifs varie en sens inverse de l'état d'incrustation de leur membrane. Or, la rapidité de pousse et le degré de lignification d'une plante fourragère sont des phénomènes essentiellement tributaires des conditions climatiques variables d'une année sur l'autre. De ce fait, une étude correcte des relations entre digestibilité et ordre de coupe exige une expérimentation portant sur de très nombreuses années.

b) *Utilisation métabolique de l'azote.* — Beaucoup d'auteurs apprécient la valeur nutritionnelle de l'azote des fourrages par le seul critère de l'utilisation digestive. Nous allons voir que dans une comparaison entre foin et ensilage, ce critère est insuffisant car le bilan d'utilisation ne s'inscrit pas au niveau du seul bilan digestif, mais au niveau de la somme des bilans fécal et urinaire. Comme le montrent nos expériences, un ensilage à coefficient d'utilisation digestive élevé peut accuser une utilisation métabolique plus faible qu'un foin à coefficient d'utilisation digestive bas.

L'interprétation de la signification statistique des différences d'utilisation métabolique observées entre nos traitements expérimentaux, appelle une remarque préliminaire : pour effectuer correc-

tement notre analyse des variances, nous avons dû nous servir des valeurs des sous-périodes de 5 jours à la place des moyennes des périodes de 10 jours. Cette analyse fait apparaître dans l'expérience I (tabl. XV) une différence significative entre sous-périodes. Nous considérons qu'il n'y a pas lieu d'y attribuer de l'importance car des bilans d'azote établis sur 5 jours n'ont aucune signification physiologique pour des raisons soulignées ailleurs (pp. 41-42).

L'efficacité azotée évaluée d'après les critères de la *réten*tion classique, de la *réten*tion vraie et de la *valeur biologique* classe nos traitements dans un même ordre pour les 2 essais. Cela nous permet donc de discuter simultanément de l'ensemble des résultats d'utilisation métabolique.

1^o Action des traitements

Rétention. — Dans 14 résultats individuels sur 21, le foin se montre supérieur à l'ensilage et inférieur dans 7 autres (tabl. VIII, IX). Il est intéressant de noter que WOODFOLK et collaborateurs (135) observent pour une luzerne conservée au métabisulfite de sodium, un coefficient de rétention assez voisin de celui enregistré dans notre expérience I en première coupe.

La moyenne des coefficients de rétention de l'ensemble des foins est de $19,8 \pm 3,8$ (*) et de tous les ensilages $17,3 \pm 1,9$. Ces valeurs brutes sont en faveur du foin mais l'analyse des variances selon FISHER et le test « t » de STUDENT montrent que les écarts ne sont pas significatifs. La relative importance de l'azote métabolique fécal par rapport à l'azote indigestible fécal chez nos animaux masquant partiellement l'effet des traitements, ce coefficient de rétention ne permet donc pas de différencier nos fourrages.

Rétention vraie. — Comme pour la rétention classique, les deux tiers des données individuelles (correction pour azote métabolique fécal, 0,40) sont favorables au foin. La moyenne de l'ensemble des foins est de $40,7 \pm 3,2$ (*), celle des ensilages au métabisulfite de sodium de $36,3 \pm 2,0$, des ensilages préfanés de $35,9 \pm 3,8$ et de tous les ensilages de $36,1 \pm 2,1$.

(*) Erreur standard.

L'analyse des variances ainsi que le test « t » indiquent qu'aucun des écarts entre les valeurs ci-dessus n'est significatif.

Si l'on procède au calcul de rétention en employant les données individuelles *in vitro* pour l'azote métabolique fécal, les moyennes pour le foin, l'ensilage au métabisulfite et l'ensilage préfané et les 2 ensilages s'établissent respectivement à 38,3 ± 4,0, 31,5 ± 1,8, 32,3 ± 3,2, 31,9 ± 1,9. Ces résultats ne diffèrent pas significativement.

Valeur biologique. — Ces valeurs, calculées à titre indicatif, se recourent parfaitement avec celles de rétention classique et « vraie » et classent les traitements dans le même ordre.

Comme précédemment, ni l'analyse des variances ni le test « t » ne font apparaître de différence significative entre les traitements, quel que soit le mode de calcul.

Les moyennes des « valeurs biologiques » sont pour les différents fourrages :

Correction	0,40	Valeur <i>in vitro</i>
—	—	—
Foin.	53,2 ± 3,2	51,0 ± 3,9
Ensilage au métabisulfite	47,3 ± 2,1	43,5 ± 2,0
Ensilage préfané	47,8 ± 3,6	45,3 ± 4,4
Deux ensilages.	47,5 ± 2,0	44,4 ± 1,9

On remarque que les coefficients de « rétention vraie » et de « valeur biologique » sont toujours plus élevés lorsque les résultats bruts sont corrigés par la valeur 0,40 au lieu des valeurs individuelles *in vitro* ; cela se conçoit du fait que l'azote métabolique fécal déterminé *in vitro* est dans tous les cas inférieur à 0,40.

2° Comparaison des coupes

Les réserves formulées à cet égard dans le paragraphe traitant de l'utilisation digestive ne nous permettent pas davantage de tirer des conclusions concernant l'ordre de coupe.

Nous signalons seulement que l'analyse des variances ne fait

ressortir aucune différence significative entre les coupes de l'expérience I; mais entre les coupes de l'expérience II, la différence est significative ($P < 0,05$) pour les 3 critères d'efficacité azotée retenus.

*
* *

La discussion qui précède permet de dégager quelques faits assez nets :

— l'utilisation digestive apparente et vraie de l'azote d'une luzerne conservée à l'état de foin est plus faible que celle de la même luzerne conservée en silo soit au métabisulfite de sodium, soit après préfanage;

— l'utilisation métabolique de l'azote est, quel que soit le critère adopté (rétention classique, « rétention vraie », « valeur biologique »), plus élevée pour le foin que pour les ensilages, mais cette supériorité n'est pas statistiquement significative. La non-signification statistique des écarts observés est due essentiellement au nombre très limité des animaux sur lesquels nous avons pu expérimenter. Il est vraisemblable que si nous avions matériellement eu la possibilité de multiplier les mesures, les phénomènes observés auraient été beaucoup plus nets en réduisant l'incidence de la variabilité individuelle;

— il n'y a pas de différence entre ensilage préfané et ensilage au métabisulfite de sodium tant au niveau du bilan digestif qu'à celui du bilan métabolique.

Nous allons tenter d'expliquer pourquoi l'utilisation digestive et l'utilisation métabolique varient en sens inverse en faisant appel à certains mécanismes particuliers au ruminant et susceptibles d'intervenir dans son métabolisme azoté.

C. — MÉCANISMES EXPLIQUANT LES DIFFÉRENCES OBSERVÉES
ENTRE UTILISATION DIGESTIVE ET UTILISATION MÉTABOLIQUE
ET ENTRE FOIN ET ENSILAGE

Rappelons d'abord que l'azote alimentaire réellement résorbé est tributaire de la proportion des formes azotées solubles présentes initialement dans l'aliment et de celles résultantes de l'action conjuguée des enzymes bactériens et digestifs sur les protéines ingérées. L'azote qui a franchi la barrière digestive n'est cependant pas nécessairement utilisé dans sa totalité au niveau du métabolisme cellulaire.

Nous avons déjà signalé que, dans nos expériences, la proportion d'azote non protéique ($N - NH_3$ inclus), donc soluble, représente environ 29 p. 100 de l'azote total dans le foin et 73 p. 100 dans les ensilages (tabl. III). Ce même azote total renferme respectivement 6 et 20 p. 100 d'azote ammoniacal. ZEITER et collaborateurs (143) observent, d'autre part, que 25 p. 100 de l'azote non protéique se trouvent à l'état d'azote aminé libre dans une luzerne après 8 heures de fenaison tandis que dans l'ensilage, cette fraction atteint 43 p. 100.

L'azote soluble étant dans sa majeure partie résorbé dans le tractus digestif, il est évident que parmi deux régimes apportant la même quantité d'azote total, celui renfermant la proportion la plus forte d'azote soluble possède le coefficient d'utilisation digestive le plus élevé. Cela explique parfaitement pourquoi nos résultats de digestibilité apparente et vraie sont nettement supérieurs pour les ensilages que pour les foins.

Il s'agit donc de rechercher pourquoi l'efficacité azotée des ensilages est plus faible que celle des foins.

On sait qu'en raison de l'intensité des phénomènes de désamination et de protéinogénèse bactérienne au niveau de la pause, l'ammoniaque constitue la clef de voûte du métabolisme azoté du ruminant. Or, l'ampleur de l'ammoniogénèse est essentiellement liée à la nature de l'aliment et c'est le devenir ultérieur de l'ammoniaque engendré qui conditionne le taux d'efficacité azotée.

Nos mesures planimétriques montrent que les surfaces totales caractéristiques à l'ammoniogénèse sont plus élevées pour les régimes à base d'ensilage que pour ceux comportant du foin (tabl. XVI).

Ce fait doit être relié à l'apport en azote soluble total facilement désaminé nettement plus élevé avec l'ensilage qu'avec le foin.

L'utilisation de ces formes dégradées et plus spécialement de l'ammoniaque ingérées avec les aliments ou libérées dans le rumen est essentiellement sous la dépendance des capacités de protéinogénèse de la micropopulation de cet organe : le rythme de la protéinogénèse bactérienne serait effectivement 3 à 4 fois plus lent que la vitesse de libération de ces métabolites et la rapidité de leur résorption à travers la paroi de la panse.

TABLEAU XVII

AZOTE URINAIRE ÉLIMINÉ EN % DE L'AZOTE DIGÉRÉ VRAI
Expérience II (moyenne des 3 moutons)

TRAITEMENTS	$\frac{Nu^o}{Nd_v} \times 100$		$\frac{Nu-Nue^o}{Nd_v} \times 100$	
	(1)	(2)	(1)	(2)
1 ^{re} coupe				
Foin	64,5	68,3	52,2	55,3
Ensilage métabisulfite	65,3	69,5	54,1	57,5
Ensilage préfané	66,8	70,3	53,1	56,4
2 ^e coupe				
Foin	53,8	55,0	41,5	42,4
Ensilage métabisulfite	62,0	67,2	50,8	55,1
Ensilage préfané	61,6	64,8	49,5	53,1
Comparaison entre traitements				
Foins	100	100	100	100
Ensilages	108	110	110	114

° : Nu = N urinaire total, Nue = N urinaire endogène.

Nd_v = azote digéré vrai.

(1) Azote métabolique fécal égal à 0,40 g par 100 grammes de matière sèche ingérée.

(2) Azote métabolique fécal déterminé par pepsine-HCl-trypsine méthode.

Il importe de rappeler que seule une faible part de l'azote qui fuit ainsi vers le circuit sanguin peut être recyclée dans le rumen en y faisant retour à l'état d'urée soit à travers sa paroi, soit par la voie salivaire. La majeure partie de l'azote échappée à l'action bactérienne est éliminée, après uréogénèse hépatique, par la voie rénale. Cette fraction n'entre pas dans le « pool » d'utilisation métabolique et par conséquent diminue l'efficacité azotée du régime.

Nos résultats montrent (tabl. XVII) en effet que par gramme d'azote réellement résorbé (digéré vrai) nos animaux excrètent 0,59 g d'azote total urinaire — (fraction endogène urinaire incluse) — avec le foin et 0,64 g avec les ensilages; cela représente pour ce dernier fourrage, une perte plus élevée de 8 p. 100. Si l'on opère la correction pour dépenses endogènes urinaires, les valeurs correspondantes sont de 0,48 et 0,55 g, d'où une perte pour l'ensilage dépassant de 10 p. 100 celle du foin.

Ces données sont calculées avec la correction moyenne de 0,40 pour les pertes métaboliques fécales; l'application des valeurs individuelles *in vitro* accentue encore la différence en défaveur des ensilages.

Ce mécanisme pourrait à lui seul expliquer les valeurs de rétention et de « valeur biologique » des protides plus faibles pour les ensilages que pour les foins.

Si les glucides de l'aliment complémentaire n'avaient pas été distribués, nous aurions certainement obtenu pour les ensilages des coefficients d'utilisation métabolique encore plus bas que ceux observés et les différences auraient peut-être été beaucoup plus prononcées. En effet, le bilan d'azote a pu être amélioré chez le mouton en ajoutant de l'amidon à l'ensilage (38) ou à une herbe sèche trop riche en protéines.

Néanmoins, cet artifice que nous n'avons pu éviter pour des raisons déjà invoquées (p. 12) permet seulement de limiter la perte mais ne la supprime pas complètement.

Nous avons pensé que le dosage de certains constituants azotés urinaires nous apporterait une explication mieux fondée des phénomènes que nous rapportons. On sait, en effet, que l'urée et l'ammoniaque constituent les catabolites urinaires principaux du métabolisme azoté d'origine exogène. Or, paradoxalement nos résultats (tabl. XIII) montrent que la somme urée + ammoniacque excrétés par gramme d'azote urinaire est plus élevée avec le régime à base de foin (75,4 %) qu'avec celui renfermant des ensilages (70 %). Il semblerait donc que d'autres catabolites azotés urinaires sont à prendre en considération et plus spécialement l'azote aminé.

Certains auteurs signalent effectivement qu'en cas de surcharge d'un régime en acides aminés libres, il y a chez le ruminant passage

direct du rumen vers le circuit sanguin et élimination sous forme d'azote aminé par la voie rénale (151); les monogastriques (57) et les polygastriques (74) excrètent en nature dans l'urine les acides aminés en excès.

Cette hypothèse nous paraît plausible car les ensilages contiennent des quantités massives d'acides aminés libres « préformés » (environ 31 % de l'azote total au lieu de 7 % dans le foin, 143). N'ayant pas dosé cette forme d'azote ni dans nos fourrages ni dans les urines de nos sujets expérimentaux nous ne formulons cette idée qu'en guise d'hypothèse.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Il est connu que les fourrages constituent la base même de l'alimentation des polygastriques.

L'étude de la bibliographie nous a permis de constater que la valeur nutritive d'un fourrage est essentiellement sous la dépendance du moment de sa récolte; les diverses techniques de conservation appliquées à la plante entraînent des pertes d'éléments nutritifs et des modifications de la valeur nutritionnelle de sa fraction azotée dont l'importance est variable avec le procédé.

La valeur nutritionnelle de cette fraction diffère avec le critère d'évaluation choisi, tel que : la digestibilité apparente et vraie, la rétention azotée et la « valeur biologique »; cette divergence est due à la complexité des processus de remaniement que subissent les composants azotés tant au cours de la conservation du fourrage que durant leur passage dans le réticulo-rumen où l'activité de la micropopulation joue un rôle prépondérant. De nombreux autres facteurs interviennent également aux divers stades du métabolisme azoté de cet animal.

Cela nous a conduit à rechercher dans quelle mesure certains métabolites issus des processus complexes de la protéolyse seraient responsables du degré d'utilisation de la fraction azotée d'un fourrage selon son mode de conservation et quel critère parmi ceux signalés permettrait l'estimation la plus correcte de l'efficacité azotée d'un fourrage conservé.

Nous avons procédé pendant deux années consécutives à une étude expérimentale sur des moutons adultes maintenus dans des conditions d'entretien; le fourrage expérimenté est une luzerne conservée soit par fenaison soit par ensilage au métabisulfite de sodium ou après préfanage.

Notre étude permet de dégager les faits suivants :

I. — *Utilisation digestive*

a) Le mode de conservation exerce une influence hautement significative ($P < 0,01$) sur l'utilisation digestive apparente des matières azotées d'une luzerne; l'ensilage, qui possède des teneurs en constituants azotés dégradés (acides aminés, ammoniacque) plus élevées que le foin, présente les coefficients d'utilisation digestive les plus forts. Il s'ensuit que pour une même quantité d'azote ingérée, les ensilages procurent au mouton davantage d'azote résorbable que le foin.

b) L'utilisation digestive vraie de l'azote, calculée avec la correction moyenne de 0,40 g d'azote métabolique fécal par 100 grammes de matière sèche ingérée (valeur *in vivo*), confirme la supériorité des ensilages sur les foins ($P < 0,01$). Par contre, si le calcul est effectué en tenant compte des corrections individuelles déterminées par la méthode *in vitro*, les différences entre traitements ne sont pas significatives : les matières azotées des foins et des ensilages accusent pratiquement des coefficients d'utilisation digestive équivalents. Cette technique étant conventionnelle, les valeurs qui en découlent sont sujettes à caution.

II. — *Utilisation métabolique*

L'utilisation métabolique de l'azote, quel que soit le mode d'expression choisi, varie en sens inverse de l'utilisation digestive : l'azote des régimes avec foin possède une efficacité meilleure que celle des régimes avec ensilages :

a) Les coefficients classiques de rétention azotée de l'ensemble des foins sont plus élevés que ceux des ensilages, mais les différences ne sont pas statistiquement significatives (test de FISHER, test de STUDENT).

b) La « rétention vraie » (facteurs de correction 0,40 ou individuels) est plus forte mais non significativement différente dans le cas des foins.

c) Les « valeurs biologiques » dont la signification nutritionnelle est, chez le ruminant, plus limitée que chez le monogastrique, recourent les valeurs de « rétention vraie »; ces 2 critères donnent des réponses concordantes; les matières azotées du foin de luzerne paraissent mieux utilisés par le mouton que ceux des ensilages.

d) La non-signification statistique des écarts observés entre traitements expérimentaux pour l'utilisation métabolique est vraisemblablement due, pour une grande part, au nombre réduit de sujets d'expériences, ce qui ne permet pas d'éliminer l'influence du facteur individuel.

III. — Les 2 *traitements d'ensilages* (métabisulfite de sodium et préfanage) procurent des coefficients d'utilisation métabolique très voisins.

IV. — La variation en sens opposé de l'utilisation digestive et de l'utilisation métabolique pourrait s'interpréter partiellement par les *mécanismes* suivants :

a) Les ensilages sont beaucoup plus riches que les foins en azote non protéique et plus spécialement en azote aminé libre et en ammoniac, métabolites quasi-totalement résorbés dans le tractus digestif. L'ammoniogénèse au niveau du rumen est d'autre part plus intense pour des régimes avec ensilages que pour des régimes avec foins. Or, une part seulement des formes azotées solubles apportées par le bol alimentaire ou engendrées dans le rumen est transformée *in situ* en protéines bactériennes utilisables par l'hôte. Le reste échappe à l'action microbienne, en transitant à travers la paroi de la panse vers le circuit sanguin; elle n'entre pas dans le « pool »

d'utilisation métabolique et est éliminée par voie rénale : le mouton excrète par gramme d'azote alimentaire effectivement résorbé davantage d'azote urinaire après consommation d'ensilage qu'après ingestion de foin.

b) L'adjonction de glucides purs comme source calorique dans nos régimes a très vraisemblablement stimulé la protéinogénèse bactérienne dans la panse à partir des formes azotées dégradées et amélioré de la sorte l'utilisation métabolique des protides des ensilages.

c) Contrairement à ce que l'on pouvait penser, l'urée et l'ammoniaque urinaire ne donnent pas dans nos conditions expérimentales une image claire des processus cataboliques; il n'est pas impossible qu'une partie des acides aminés libres apportés en excès par les régimes à base d'ensilage ait pu passer directement du rumen vers le sang et être excrétée en nature dans l'urine. C'est la somme des azotes uréique, ammoniacal et aminé de l'urine qui en ce cas aurait mieux rendu compte du catabolisme azoté.

Les divergences constatées entre coefficient d'utilisation digestive et coefficient d'utilisation métabolique se comprennent mieux à la lumière de ces faits. Ceux-ci nous amènent à conclure que pour estimer la valeur nutritionnelle des protides d'un fourrage conservé et plus spécialement d'un ensilage, le critère de l'utilisation digestive est insuffisant et doit être nécessairement complété par celui de l'utilisation métabolique.

DEUXIÈME THÈSE

Propositions données par la Faculté

« DÉGRADATION MICROBIENNE
DES GLUCIDES ALIMENTAIRES DANS LE RUMEN »

Vu et approuvé :

Paris, le

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

MARC ZAMANSKY

Vu

et Permis d'imprimer :

**Le Recteur de l'Académie
de Paris,**

JEAN ROCHE

BIBLIOGRAPHIE

- (1) ABOU AKKADA (A. R.) et BLACKBURN (T. H.). — *J. Gen. Microbiol.*, 1963, 31 (à paraître), cité par KAY (B. N. R.) et HOBSON (P. N.). — *J. Dairy Res.*, 1963, **30**, 261.
- (2) ALBANÈSE (A. A.). — Protein and Amino Acids Nutrition, New York and London, 1959, 315.
- (3) ALLEN (R. S.), WORTHINGTON (R. E.), GOULD (N. R.), JACOBSON (N. L.) et FREEMAN (A. E.). — *J. Agri. and Food Chem.*, 1961, **9** (5), 407.
- (4) ALLISON (J. B.). — *Adv. Prot. Chem.*, 1949, **5**, 155.
- (5) ALLISON (J. B.). — *Physiol. Rev.*, 1955, **35**, 664.
- (6) ANNISON (E. F.). — *Bioch. J.*, 1956, **64**, 705.
- (7) ANNISON (E. F.), CHALMERS (M. I.), MARSHALL (S. B.) et SYNGE (R. L. M.). — *J. Agri. Sci.*, 1954, **44**, 270.
- (8) ASHTON (G. C.). — *J. Agri. Sci.*, 1962, **58**, 333.
- (9) BLACKBURN (T. H.) et HOBSON (P. N.). — *J. Gen. Microbiol.*, 1962, **29**, 69.
- (10) BLAIZOT (J.) et RAYNAUD (P.). — *C. R. Acad. Sci.*, 1957, **244**, 802.
- (11) BLAXTER (K. L.) et GRAHAM (N. McC.). — *J. Agri. Sci.*, 1955, **46**, 292.
- (12) BLAXTER (K. L.), GRAHAM (N. McC.) et WAINMANN (F. W.). — *Brit. J. Nut.*, 1956, **10**, 69.
- (13) BLAXTER (K. L.) et MARTIN (A. K.). — *Brit. J. Nut.*, 1962, **16**, 397.
- (14) BLAXTER (K. L.) et MITCHELL (H. H.). — *J. An. Sci.*, 1948, **7**, 351.
- (15) BOUCKAERT (J. H.) et OYAERT (W.). — *Zootechnie*, 1952, **1**, 21.
- (16) BRANDSMA (S.) et DIJKSTRA (N. D.). — *Versl. Landbouwk. Onderz.*, n° 62.14, 1956.
- (17) BREIREM (K.), HOMB (T.) et PRESTHEGGE (K.). — O.E.C.E., session d'étude sur les ensilages, Zürich (Suisse), 91.
- (18) BRODY (S.). — Bioenergetic and Growth, Reinhold Pub. Corp., New York, 1945.
- (19) BURROUGHS (E. W.), BURROUGHS (H. S.) et MITCHELL (H. H.). — *J. Nut.*, 1940, **19**, 271.
- (20) CHALMERS et coll., 1954, cité par ZELTER (S. Z.) et CHARLET-LERY (Rf. 140).
- (21) CHALMERS (M. I.), CUTHBERTSON (D. P.) et SYNGE (R. L. M.). — *J. Agri. Sci.*, 1954, **44**, 254.
- (22) CHALMERS (M. I.) et SYNGE (R. L. M.). — *Adv. in Prot. Chem.*, 1954, **9**, 93.
- (23) Ibidum. — *J. Agri. Sci.*, 1954, **44**, 263.
- (24) CHIBNALL (A. C.). — Protein Metabolism in the Plant, New Haven, Yale Univ. Press, 1939.
- (25) CONWAY (E. J.). — Microdiffusion Analysis and Volumetric Error, 4th Ed., GROSBY Lockwood and Son Ltd., London, 1950.
- (26) CUTHBERTSON (D. P.) et CHALMERS (M. I.). — *Biochem. J.*, **46**, 17.
- (27) DAWSON (J. R.), KOPLAND (D. V.) et GRAVES (R. R.). — *J. Dairy Sci.*, 1940, **23**, 558.
- (28) DEMAUX (G.), LE BARS (H.), MOLLE (J.), RERAT (A.) et SIMONNET (H.). — *Nut. Ab. Rev.*, 1962, **32** (1), 127.
- (29) DIJKSTRA (N. D.) et BRANDSMA (S.). — *Herbage Abstracts*, 1957, **27** (1), 55.
- (30) DINNING (J. S.), BRIGGS (H. M.), GALLUP (W. D.), ORR (H. W.) et BUTLER (R.). — *Amer. J. Physiol.*, 1948, **153**, 41.
- (31) ELLIOT (R. C.), FRENCH (C. H.) et FOLKERSTEN (K.). — *Rhod. Agri. J.*, 1961, **68**, 181.
- (32) ELLIS (W. C.), GARNER (G. B.), MUHRER (M. E.) et PFANDER (W. H.). — *J. Nut.*, 1956, **60**, 413.
- (33) EL-SAMMAN (S.). — *Thèse*, Wageningen, 1961.
- (34) ELSDEN (S. R.) et PHILLIPSON (A. T.). — *Ann. Rev. Biochem.*, 1948, **17**, 705.
- (35) EL-SHAZLY (K.). — *Bioch. J.*, 1952, **51**, 647.
- (36) EWING (P. V.) et SMITH (F. H.). — *J. Agr. Res.*, 1917, **10**, 2.
- (37) FAUCONNEAU (G.) et PION (R.). — Amino-acides, Peptides et Protéines, Cahier n° 4, Soc. de Chimie Organique et Biologique, Paris, 1960.

- (38) FERRANDO (R.). — *Ann. Nut. et Alim.*, 1958, **12**, 280.
- (39) FOLLIN (O.). — *Am. J. Physiol.*, 1905, **13**, 117.
- (40) FORBES (R. M.). — *J. An. Sci.*, 1950, **2**, 231.
- (41) FORBES (R. M.), VAUGHAN (L.) et YOHE (M.) (1956). — Protein and Amino Acid Nutrition par ALBANÈSE (A. A.), 1959 (Rf. 2).
- (42) GRAINGER (R. R.) et OBERLEAS (O. J.). — *An. Sci.*, 1960, **19**, 1263.
- (43) GRAY (F. V.) et PILGRIME (A. F.). — *Nature*, 1956, **178**, 94.
- (44) GRAY (F. V.), PILGRIME (A. F.) et WELLER (R. A.). — *Brit. J. Nut.*, 1958, **12**, 404-413.
- (45) GREENHALGH (J. F. D.) et CORBETT (J. L.). — *J. Agri. Sci.*, 1960, **55**, 371.
- (46) HAMILTON (T. S.), ROBINSON (W. B.) et JOHNSON (B. C.). — *J. An. Sci.*, 1948, **7**, 26.
- (47) HARRIS (L. E.) et MITCHELL (H. H.). — *J. Nut.*, 1941, **22**, 167.
- (48) HASTINGS (E. G.) cité par BARNETT (A. J. G.) et REID (R. L.). — Reactions in the rumen, London, 1961, 128.
- (49) HEAD (M. J.). — *J. Agri. Sci.*, 1953, **43**, 281.
- (50) Ibidum. — *Proc. Nut. Soc.*, 1959, **18**, 108.
- (51) HOLMES (P.), MOIR (R. J.) et UNDERWOOD (E. J.). — *Aust. J. Biol. Sci.*, 1953, **6**, 637.
- (52) HOLSTEIN (J. A.) et HEID (J. T.). — *J. An. Sci.*, 1958, **1339**.
- (53) HOMB et NETKUITNE, cité par ZELTER (S. Z.) et CHARLET-LERY (G.) (Rf. 140.)
- (54) HOUP (T. R.). — *Thèse*, Univ. cf. Pennsylvania, 1958.
- (55) HUNTER (R. T.) et VANDER NOOT (G. W.). — *J. An. Sci.*, 1961, **20**, 1.
- (56) HUTCHINSON (J. C. D.) et MORRIS (S.). — *Biochem. J.*, 1936, **30**, 168.
- (57) JACQUOT (R.) et VIGNERON (M.). — Amino-acides, Peptides et Protéines, Cahier n° 2, Soc. de Chimie Organique et Biologique, Paris, 1959, 70.
- (58) JARRIGE (R.). — Conférence Européenne des Herbages, Paris, 1954, 293.
- (59) KAY (B. N. R.) et HOBSON (P. N.). — *J. Dairy Res.*, 1963, **30**, 261.
- (60) KELLNER (1880), cité par EL-SAMMAN, 1961 (Rf. 33).
- (61) KOHLER (W.). — *Archiv. Mikrobiol.*, 1940, **11**, 432.
- (62) KRZYWANEK (F. W.) (1929), cité par EL-SAMMAN, 1961 (Rf. 33.)
- (63) LANDIS (von J.). — *Schweizerischen Landwirthschaftlichen Forschung*, 1962, **3**, 328.
- (64) LÉGISLATION des aliments des animaux, Paris, 1948, 22.
- (65) LEROY (A. M.) 1954. — Texte non publié.
- (66) LEROY (A. M.). — Le mouton, Hachette, Paris, 1956, 65.
- (67) LEROY (A. M.) et ZELTER (S. Z.). — *Ann. de Zootechnie*, 1954 (2), 95.
- (68) Ibidum. — *Ann. de Zootechnie*, 1954 (3), 17.
- (69) LEWIS (D.). — *Bioch. J.*, 1951, **48**, 175.
- (70) LEWIS (D.). — *Bioch. J.*, 1951, **49**, 149.
- (71) LEWIS (D.). — *Brit. J. Nut.*, 1955, **9**, 215.
- (72) LEWIS (D.), HILL (K. J.) et ANNISON (E. F.). — *Bioch. J.*, 1957, **66**, 587.
- (73) LLOYD (L. E.), PECKHAM (H. E.) et CRAMPTON (E. W.). — *J. An. Sci.*, 1956, **15**, 846.
- (74) LOOSLI (J. K.), WILLIAMS (H. H.), THOMAS (W. E.), FERRIS (F. H.) et MAYNARD (L. A.). — *Science*, 1949, **110**, 144.
- (75) LUGG (J. W. H.). — *Adv. Prot. Chem.*, 1949, **5**, 229.
- (76) MACPHERSON, cité par ZELTER (S. Z.), 1956 (Rf. 139).
- (77) MAJUMDAR (B. N.). — *J. Ag. Sci.*, 1960, **54**, 329.
- (78) MAJUMDAR (B. N.). — *J. Ag. Sci.* 1960, **54**, 335.
- (79) Manuel pour le calcul de la valeur nutritive des fourrages. Lab. de l'analyse des sols et des fourrages, Oosterbock, 1958 (Document A.F.Z., 1959).
- (80) MARSTON (H. R.). — *Aust. J. Sci. Res. (B)*, 1948, **1**, 93.
- (81) MARTIN (J.) et BUYSSE (F. P.). — *Herbage Abs.*, 1955, **25**, 100.
- (82) MAYMONE (B.). — *B. T. I.*, 1950, **50**, 413.
- (83) McDONALD (I. W.). — *Bioch. J.*, 1948, **42**, 584.
- (84) McDONALD (I. W.). — *Bioch. J.*, 1952, **51**, 86.
- (85) McNAUGHT (M. L.) et SMITH (J. A. B.). — *Nut. Abst. et Rev.*, 1947-48, **17**, 18.
- (86) McNAUGHT (M. L.), SMITH (J. A. B.), HENRY (K. M.) et KON (S. K.). — *Bioch. J.*, 1950, **46**, 32.
- (87) McNAUGHT (M. C.), OWEN (E. C.), HENRY (K. M.) et KON (S. K.). — *Bioch. J.*, 1954, **56**, 151.
- (88) Méthodes d'analyses des aliments pour les animaux. Féd. Nat. des Synd. des Ind. de l'Alim. Animale, 195., Paris.

- (89) MILLER (J. I.) et LORRISON (F. B.). — *J. Agri. Res.*, 1939, **58**, 149.
- (90) MILLER (J. I.) et LORRISON (F. B.). — *J. Agri. Res.*, 1942, **65**, 429.
- (91) MITCHELL (H. H.). — *Biochem. J.*, 1928, **22**, 1323.
- (92) MITCHELL (H. H.). — *J. An. Sci.*, 1943, **2**, 263.
- (93) MITCHELL (H. H.). — Protein and Amino Acid Nutrition par ALBANÈSE (A. A.), 1959 (Réf. 2), 11-40.
- (94) MITCHELL (H. H.) et HAMILTON (T. S.). — *The Biochemistry of the Amino Acids*, New York, 1929, 487-489.
- (95) MOIR (R. J.) et WILLIAMS (V. J.). — *Aust. J. Sci. Res.*, 1950, **B3**, 381.
- (96) MORGEN (A.), BEGER (C.) et WESTHAUSER (F.). — *Landw. Versst.*, 1914, **85**, 1.
- (97) MUKHERJEE (R.) et KEHAR (N. D.). — *Ind. J. Vet. Sci.*, 1949, **19** (11), 113.
- (98) MURDOCH (J. C.). — Conférence Européenne de l'Herbage, Paris, 1954.
- (99) MURDOCH (J. C.), BALCH (P. S.) et ROWLAND (F.). — *J. Brit. Grassl. Soc.*, 1955, **10** (2), 135.
- (100) NASH (M. J.). — *J. Brit. Grassl. Soc.*, 1959, **14**, 65, 107.
- (101) NASSET (E. S.) et coll. (1951), cité par JACQUOT (R.) et VIGNERON (M.), 1959. (Rf. 57.)
- (102) OSBORN (T. B.) et MENDEL (L. B.), 1916, *ibidum*.
- (103) OTAGAKI (K. K.), BLACK (A. L.), GOSS (H.) et KLERBER (M.). — *Agric. and Food Chem.*, 1955, **3**, 948.
- (104) OYAERT (W.) (1954), cité par EL-SAMMAN, 1961 (Rf. 33).
- (105) PEARSON (R. M.) et SMITH (J. A. B.). — *Bioch. J.*, 1943, **37**, 148.
- (106) *Ibidum*, 1943, **37**, 153.
- (107) PHILLIPSON (A. T.). — Proc. Conference, Brighton, 1958, 107.
- (108) PHILLIPSON (A. T.), DOBSON (M. J.), BLACKBURN (T. H.) et BROWN (M.). — *Brit. J. Nut.*, 1962, **16**, 151.
- (109) REED (F. M.), MOIR (R. J.) et UNDERWOOD (E. J.). — *Aust. J. Sci. Res.*, 1949, **2**, 203.
- (110) REID (P. J.) et SCHINKEL (P. G.). — *Nut. Abs. Rev.*, 1961, **31** (4), 61.
- (111) REID (R. L.), SHELTON (D. C.) et WELCH (J. A.) (1959). — Donnée non publiée, cité par BARNETT (A. J. G.) et REID (R. L.) dans « Reaction in the Rumen », Edward Arnold Pub. Ltd., London, 1961.
- (112) REPP (W. W.), HALE (W. H.) et BURROUGHS (W. J.). — *An. Sci.*, 1955, **14**, 901.
- (113) REPP (W. W.), HALE (W. H.), CHENG (E. W.) et BURROUGHS (W.). — *J. An. Sci.*, 1955, **14**, 118.
- (114) RIZMAN (E. G.) et COLOVOS (N. F.) (1930), cité par HARRIS et coll. (Rf. 47).
- (115) ROGERSON (A.). — *Brit. J. Nut.*, 1958, **12**, 164.
- (116) SCHLOTTKE (E. S.). — *B. naturf. Ges. Rostock*, 1936, série 3, **6**, 59.
- (117) SCHOENHEIMER (R.), RATNER (S.) et RITTENBERG (D.). — *J. Biol. Chem.*, 1939, **130**, 703.
- (118) SCHRAM (R.) et AINES (P. D.). — *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1959, **36**, 1.
- (119) SIROTNAK (F. M.), DOETSCH (R. N.), BROWN (R. E.) et SHAW (J. C.). — *J. Dairy Sci.*, 1953, **36**, 1117.
- (120) SMUTS (D. B.) et MARIAS (J. S. C.). — *Onderstepoort. J. Vet. Sci. Animal Ind.*, 1938, **11**, 131.
- (121) *Ibidum*. — *Onderstepoort. J. Vet. Sci. Animal Ind.*, 1939, **13**, 219.
- (122) SNEDECOR (G. W.). — *Statistical Methods*, 5th Ed., Iowa State Univ. Press, 1956.
- (123) SOTOLA (J.). — *J. Ag. Res.*, 1930, **40**, 79.
- (124) SYM (E. A.). — *Acta Biol. Exp.*, Varsovie, 1938, **12**, 192.
- (125) SYNGE (R. L. M.). — *Brit. J. Nut.*, 1952, **6**, 100.
- (126) THOMAS (K.). — *Arch. Anat. Physiol., Physiol. Abt.*, 1909, 219.
- (127) TISSERAND (J. L.). — 1961, à paraître.
- (128) TITUS (H. W.). — *J. Agri. Res.*, 1927, **34**, 49.
- (129) TUKEY (J. W.), cité par SNEDECOR (G. W.), 1956 (Rf. 122).
- (130) TURK (K. L.), MORRISON (F. B.) et MAYNARD (L. A.). — *J. Agri. Res.*, 1934, **48**, 558.
- (131) VESSERAU (A.). — *Méthodes Statistiques en Biologie et en Agronomie*, J.-B. Baillière et Fils, Paris, 1960.
- (132) WARNER (A. C. I.). — *Bioch. J.*, 1956, **64**, 1.
- (133) WEIR (W. C.), JONES (L. G.) et MEYER (J. H.). — *J. An. Sci.*, 1960, **19**, 5.
- (134) WELLER (R. A.). — *Aust. J. Biol. Sci.*, 1957, **10**, 384.
- (135) WOODFOLK (P.-G.), THOMPSON (C. M.) et GRAINGER (R. B.). — *J. An. Sci.*, 1954, **13**, 1014.

- (136) WOODMAN (H. E.), EVANS (R. E.) et NORMAN (D. B.) (1933-35), cité par WATSON (S. J.) et NASH (M. J.) dans « The Conversation of Grass and Forage Crops », Ouvr. et Boyd, Edinburg et London, 1960.
 - (137) ZELTER (S. Z.). — *Bul. Tech. des Ing. des Serv. Agr.*, 1956, 115.
 - (138) ZELTER (S. Z.). — *Communication privée*, 1961.
 - (139) ZELTER (S. Z.). — Journées d'études A.F.P.F. (*sous presse*), 1963.
 - (140) ZELTER (S. Z.) et CHARLET-LERY (G.). — Rapport aux Journées d'Étude de l'Association Française de Zootechnie, 1960.
 - (141) ZELTER (S. Z.) et CHARLET-LERY (G.). — *Ann. Biol. Anim. Bioch. Biophys.*, 1961, 1 (1), 29.
 - (142) ZELTER (S. Z.) et DELORT-LAVAL (J.), 1962, à paraître.
 - (143) ZELTER (S. Z.) et DURAND-SALOMON (M.). — *Fourrages*, 1961, 8, 82.
 - (144) ZELTER (S. Z.) et LEROY (F.). — *Annals de Zootechnie*, 1958, 3, 173.
 - (145) ZELTER (S. Z.) et SALOMON (M.). — *Annals de Zootechnie*, 1959, 8, 147.
 - (146) ZELTER (S. Z.) et SALOMON (M. D.). — Proc. of the 8th International Grassland Congress, Univ. of Reading (England), 1960.
 - (147) ZUNTZ (N.) (1891), cité par EL-SAMMAN, 1961 (Rf. 33).
 - (148) BLUMFIELD (R. A.), GARNER (G. B.) et MUHRER (M. E.). — *J. An. Sci.*, 1960, 19, 1248.
 - (149) CHALMERS (M.). — *Ann. Nut. Alim.*, 1961, 15, 300.
 - (150) MAYNARD (L. A.) et LOOSLI (K.). — *Animal Nutrition*, Ed. McGraw Hill B. C., New York, 1956, 272.
 - (151) LEBARS (H.). — *Ann. Nut. Alim.*, sous presse, 1963.
-

TABLE DES MATIÈRES

Introduction.	5
-----------------------	---

Première partie

DONNÉES GÉNÉRALES

Chapitre I. — UTILISATION MÉTABOLIQUE DE L'AZOTE CHEZ LE RUMINANT . . .	9
A. — Dégradation bactérienne dans le réticulo-rumen	9
B. — Protéinogénèse bactérienne dans la panse	11
C. — Besoins azotés d'un polygastrique à l'entretien	12
D. — Dépense endogène urinaire spécifique	13
E. — Dépense métabolique fécale.	14
a) Évaluation <i>in vitro</i>	15
b) Évaluation <i>in vivo</i> avec régime protéoprive	15
Chapitre II. — MÉTHODES DE CONSERVATION DES FOURRAGES	18
a) Fénaison	18
b) Ensilage	19

Deuxième partie

TRAVAUX PERSONNELS : MÉTHODES EXPÉRIMENTALES ADOPTÉES ET RÉSULTATS

Chapitre I. — MÉTHODE D'ÉVALUATION DE LA VALEUR NUTRITIVE DE LA FRACTION AZOTÉE DES FOURRAGES	25
A. — Mesure de la digestibilité apparente.	25
B. — Mesure de la digestibilité vraie	25
C. — Mesure de l'efficacité azotée	26
Chapitre II. — MATÉRIEL ET MÉTHODES.	29
A. — Animaux en expérience.	30
B. — Régimes alimentaires.	31
a) Fourrages	31
b) Aliment complémentaire énergétique	32
c) Établissement des rations expérimentales	33
C. — Conditions de l'expérience	33
D. — Mesures, prélèvements et conservation des échantillons	35
a) Ingesta.	35
b) Excréta	36
c) Prélèvement de contenu de panse.	36
E. — Techniques utilisées pour l'analyse chimique	37

Chapitre III. — RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.	39
A. — Évolution du poids corporel des sujets	39
B. — Utilisation digestive des matières sèches et organiques	39
C. — Utilisation digestive apparente et vraie de l'azote.	45
a) Utilisation digestive apparente de l'azote	46
b) Utilisation digestive vraie de l'azote	46
1° Estimation <i>in vitro</i> de l'azote métabolique fécal.	50
2° Coefficient d'utilisation digestive vraie	50
D. — Utilisation métabolique de l'azote.	52
a) Coefficients de rétention.	52
b) Valeur biologique	54
c) Ammoniogénèse.	55
d) Composants urinaires	57

Troisième partie

DISCUSSIONS GÉNÉRALES ET CONCLUSIONS

Chapitre Unique. — COMMENTAIRES DES EXPÉRIENCES ET DISCUSSION GÉNÉRALE.	61
A. — Préliminaires concernant les conditions expérimentales.	61
B. — Discussions des résultats	63
a) Utilisation digestive apparente et vraie de l'azote	63
1° Influence des traitements	63
2° Comparaison entre coupe	67
b) Utilisation métabolique de l'azote	68
1° Action des traitements	69
2° Comparaison des coupes.	70
C. — Mécanismes expliquant les différences constatées entre utilisation diges- tive et utilisation métabolique de l'azote	72
RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS.	75
BIBLIOGRAPHIE	81

Imprimé par l'Imprimerie Alençonnaise
Place Poulet-Malassis, Alençon (Orne)

— Dépôt légal : 4^e trimestre 1965 —
— Numéro d'ordre : 7.403 —
